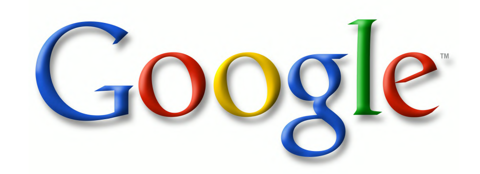
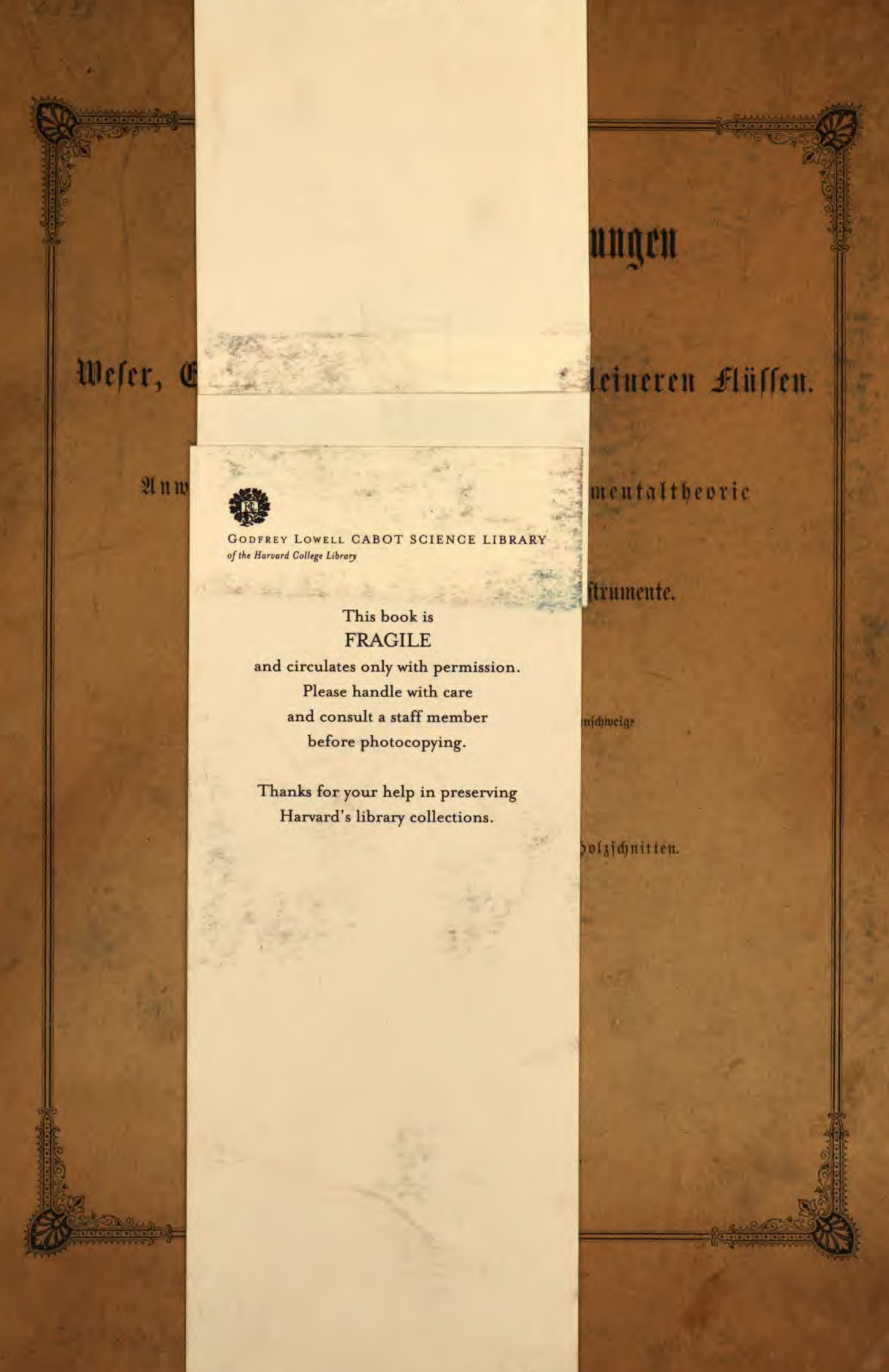






ungen
Weser, E
leineren Flüssen.
Anw
mentaltheorie
strumente.
nschweig
Holzschnitten.

Er



Urtheile der Presse über: v. Wagner, Hydrologische Untersuchungen.

Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover. 1882. Heft 2:

„Der Verfasser hat in dem vorliegenden Werke einen **werthvollen** Beitrag zur Frage über die Bewegung des Wassers in Flüssen und Strömen geliefert. Nach einer, wohl den meisten Fachgenossen aus dem Herzen geschriebenen Einleitung behandelt der Verfasser eingehend die **neueren Instrumente** zur Messung der Geschwindigkeit und führt unter diesen auch den von ihm erfundenen **Hydrometer mit Schallleitung** auf, welcher, obgleich schon an anderen Orten veröffentlicht (s. S. 109 des Jahrg. dies. Zeitschr.), an dieser Stelle aber in Verbindung mit der Beschreibung der übrigen Hydrometer die Vergleichung ermöglicht und daher von **grossem Interesse** ist. Die Bestimmung der Koëfficienten ist ausführlich behandelt und giebt nicht allein für **Studirende**, sondern auch für **Praktiker** manche **beherzigenswerthe Winke.**

Im zweiten Abschnitte folgen hydrologische Untersuchungen an der Weser, der Elbe, am Rheine und an der Oker, sowie Angaben über die veränderten Zustände an der Weser, Oker, Spree und Bode; bei den Mittheilungen über das Sinken des Niedrigwassers in der Weser wäre eine Angabe, ob die Ursache des Sinkens nicht etwa in Korrektionen des Flusses zu suchen sei, wünschenswerth gewesen.

Im dritten Abschnitte werden die Messungsergebnisse mit den bekanntesten Formeln verglichen, wobei sich herausstellt, dass die Abweichungen von den Kutter-Ganguillet'schen Formeln (vergl. S. 639 des Jahrg. 1880 dies. Zeitschr.) nur unerheblich sind; auch nach den Erfahrungen des Referenten, welcher diese Formeln seit 10 Jahren ausschliesslich benutzt hat, sind dieselben für den praktischen Gebrauch zu empfehlen.

Im vierten Kapitel werden die Einzelergebnisse mit deren Verwendung für die Praxis und Theorie behandelt.

Das mit Zeichnungen musterhaft ausgestattete Werk ist denjenigen Technikern, welche sich mit den feineren Messungen der Flussgeschwindigkeit beschäftigen, sowie den Studirenden zu eingehendem Studium zu empfehlen; es wird aber auch dem Praktiker, welcher nur gelegentlich derartige Messungen auszuführen hat, als Nachschlagebuch willkommen sein.

Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure. 1882. Heft 4:

.... Das vorliegende Werk, welches durch gute graphische Darstellungen unterstützt wird, ist jedenfalls für die praktische Hydraulik von besonderem Werthe und kann dem Techniker aufs beste empfohlen werden. Es führt zwar auch nicht aus dem vielleicht niemals ganz aufzuhellenden Gebiete der empirischen Hydraulik heraus, fördert aber die Kenntniss der Thatsachen und lehrt neue Thatsachen mit möglichst geringer Mühe zu erlangen.

Zeitschrift für Baukunde. 1882. Heft 2:

.... Der im zweiten Abschnitt ausgesprochenen Anschauung, dass die Behandlung eines Stromes aus der Kenntniss des Charakters und der Beschaffenheit seines ganzen Sammelgebietes hervorgehen müsse und erst auf Grund dieser Kenntniss Bauprojecte aufgestellt werden sollten, wird man ebenso wie der Meinung beipflichten müssen, dass erst allgemeine und systematisch durchgeführte hydrologische Untersuchungen der Sammelgebiete Klarheit über auftretende Calamitäten verschaffen können.... Das mit schönen Tafeln ausgestattete Buch kann empfohlen werden.

Deutsche Bauzeitung. 1882. No. 48:

.... Nach unserer Auffassung ist aus dem Buche eine werthvolle Bereicherung desjenigen Wissens zu gewinnen, welches der in die Praxis übertretende junge Hydrotekt auf der Hochschule sich erworben hat.... es bietet ihm der Inhalt des 2. Theiles die Mittel, seine Resultate an der Hand präciser wissenschaftlicher Regeln mit Sicherheit zu vergleichen, zu beurtheilen und zu diskutiren. Wir können daher nur wünschen, dass das Buch in den Kreisen jüngerer Hydrotekten die weiteste Verbreitung finde. etc.

Deutsche Litteraturzeitung (Berlin). III. Jahrgang. No. 24:

(Abtheilung für Ingenieur-Bauwesen.)

Der um die Hydrologie hochverdiente Verf. hebt in der Einleitung nachdrücklich hervor, dass bei allen hydrologischen Untersuchungen Theorie und Praxis Hand in Hand gehen müssen und dass namentlich die Gesetze der Bewegung des Wassers nur mit Hilfe der sorgfältigsten, auf wissenschaftlicher Grundlage ruhenden Beobachtungen ermittelt werden können. Das Buch enthält daher zunächst eine Beschreibung und einen Vergleich der wichtigsten Instrumente, welche für Geschwindigkeitsmessungen in Gebrauch sind, darunter der patentirte Hydrometer mit elektrischer Leitung von Prof. Harlacher und der vom Verf. des Buches neu erfundene höchst sinnreiche Hydrometer mit Schallleitung.... Dem ausführlichen Werke sind sehr deutliche Zeichnungen beigegeben und kann dasselbe allen Wasserbautechnikern warm empfohlen werden.

Literarisches Centralblatt. 1882. No. 23:

Eine erfreuliche Thatsache ist es, dass in neuerer Zeit auf fast allen technischen Gebieten zahlreiche vom wissenschaftlichen Geiste getragene Versuche angestellt werden, welche Theorie und Praxis verbinden sollen. Für die Hydrotechnik sind solche Versuche besonders wichtig, weil den älteren Resultaten infolge der Unvollkommenheit gebrauchter Instrumente und der Nichtbeachtung verschiedener Fehlerquellen kein allzugrosses Gewicht beigelegt werden darf..... Wer nicht einen durch mangelhafte Studien bedingten ganz einseitigen Standpunkt einnimmt, wird dem Verf. für seine Theorie und Praxis fördernden Versuche lebhaften Dank zollen.

Die Mühle. 1881. No. 48:

.... Wir müssen gestehen, dass uns selten ein Werk mit gleichgrossem Interesse gefesselt hat wie dieses. Es wirkt nach den verschiedensten Richtungen hin belehrend und aufklärend, so dass wir dasselbe allen Hydrotekten und Wasserbetriebwerksbesitzern welche sich für Wassermessungen interessiren, aufs Angelegentlichste zur Anschaffung empfehlen.

Gleich lobend spricht sich auch die **Kölnische Zeitung in ihrer No. 24, Februar 1882** aus.

Es gereicht uns zu einer ganz besonderen Genugthuung schon heute, wenige Monate nach dem Erscheinen des Wagner'schen Werkes — ganz abgesehen von sonstigen anerkennenden Schreiben — auf eine so stattliche Reihenfolge von lobenden Besprechungen aus Fachzeitschriften ersten Ranges hinweisen zu können und hoffen wir, dass dieser Umstand dazu beitragen wird, dem Buche eine möglichst weitgehende Verbreitung zu verschaffen.

Es kann durch **jede Buchhandlung** event. auch von der **Verlagsbuchhandlung direkt** bezogen werden.

Hochachtungsvoll

Goeritz & zu Putlitz.
Verlagsbuchhandlung.

P. S. Gestatten Sie uns zum Schlusse noch die ergebene Mittheilung, dass der v. Wagner'sche akustisch signalisirende hydrometrische Flügel nach den Angaben des Erfinders in der mechanischen Werkstätte von C. Landsberg in Hannover angefertigt wird.

Der Unterfertigte bestellt aus dem Verlage von
Goeritz & zu Putlitz in Braunschweig
durch Vermittlung von

....

.... **v. Wagner,** Hydrologische Untersuchungen. Gr. 4°.
Cartonnirt M. 11.

Name: ....

Stand: ....

Wohnort: ....

Strasse: ....

O. Pätz'sche Buchdr. (Otto Hauthal) in Naumburg a. S.

Hydrologische Untersuchungen

an der

Weser, Elbe, dem Rhein und mehreren kleineren Flüssen.

Ihre

Anwendungen auf die Praxis und Experimentaltheorie

nebst

speziellen Mittheilungen über neuere Instrumente.

Von

Johannes von Wagner,
Professor an der herzogl. Technischen Hochschule zu Braunschweig.

Mit 8 lithographirten Doppel-Tafeln und 12 Holzschnitten.



Braunschweig,
Verlag von Goeritz & zu Putlitz.
1881.



Druck von B. G. Teubner in Leipzig.

Vorwort.

Hervorragende Hydrotekten der Gegenwart haben wiederholt aufgefordert, daß hydrologische Untersuchungen im Interesse der Weiterentwicklung der Hydrologie so viel als möglich veröffentlicht werden. Ich komme dieser Aufforderung mit dem Wunsche nach, daß die nachfolgenden Abhandlungen mit beitragen mögen, diesen Theil technischer Hülfswissenschaften zu fördern. Die an einzelnen Stellen vorkommende Ausdehnung des Stoffes begründet sich durch die Absicht, die Abhandlungen auch für Studirende technischer Hochschulen zu schreiben. Die offene Sprache in der Einleitung entspringt nicht allein meinen persönlichen Ansichten, sondern enthält die hiermit übereinstimmenden Produkte des Meinungsaustausches mit nicht wenigen der Herren Fachgenossen, denen mit mir daran gelegen ist, daß der dringlich nöthige Ausbau der Hydrologie nicht durch Verkennung oder Mißverständnisse gehemmt werde.

Die zugehörenden Zeichnungen habe ich der Deutlichkeit halber in möglichst großem Maaßstabe zu halten gesucht. Obgleich hierdurch eine größere Ausbreitung der lithographischen Arbeiten entsteht, so sind doch die Herren Verleger bereitwilligst darauf eingegangen und haben in dankenswerther Weise für eine gute Ausstattung des Werkes gesorgt.

v. Wagner.

Inhalt.

Dritter Abschnitt.

Vergleichung der Messungsresultate mit den Ergebnissen der Experimental-Theorien.

Vierter Abschnitt.

Einzel-Ergebnisse mit deren Verwendung für die Praxis und Theorie.

Berichtigungen.

Seite 14 linke Spalte, Zeile 22 v. o. kommt: „und 4a" in Wegfall.

Durch ein Versehen in der Tabellen-Nummerirung folgen auf Tabelle Nr. 5 die Tabellennummern 8 bis 13 (statt 6 bis 11). Im Texte ist auf die Tabellennummern 1 bis 5 und 8 bis 13 Bezug genommen.

Einleitung.

Wenn wir mit **Hydrologie** die Lehre von der Ruhe, Bewegung und Vertheilung des aus der Atmosphäre niedergeschlagenen Wassers **auf der Erdoberfläche** bezeichnen (zum Unterschied von der Meteorologie und Geologie, welche sich vorwiegend mit dem Wasser in der Atmosphäre, beziehentlich in dem Erd-Innern befassen), so sind es hiervon namentlich die Gesetze der Bewegung des Wassers, welche zur Zeit noch auf schwachen Füßen stehen und der wissenschaftlichen Förderung am meisten bedürfen. Der Weg der Abstraktion, oder die eigentliche „Theorie", wird hierbei kaum zum Ziele führen können; hierzu sind die Grundfaktoren zu mannigfaltig und zu veränderlich. Man ist vielmehr darauf angewiesen, ein auf die Erfahrung gegründetes System*) zu bilden, welches die Resultate zuverlässiger Beobachtungen zu (mit mathematischen Mitteln geordneten) Gesetzen umwandelt, deren Verwendung den Ingenieur in den Stand setzt, die technischen Ausführungen der Praxis mit Hülfe zuverlässiger wissenschaftlicher Grundlagen mit der beabsichtigten Wirkung in Einklang zu bringen. Müssen aber die hauptsächlichsten Faktoren aus der Erfahrung geschöpft werden, so können nur durch zahlreiche, nach Methode und Hülfsmitteln rationell ausgeführte Beobachtungen die hydrologischen Fundamente hergestellt werden, welche den Ausgangspunkt für die Ausführung der verschiedentlichsten hydrotechnischen Anlagen bilden.

Bei dieser Gelegenheit glaubt Verfasser der irrthümlichen Auffassung des Begriffes „Theorie" erwähnen zu sollen, wie sie noch heut zu Tage vorkommt. Es giebt Techniker, welche alles für „Theorie" ansehen, was einer „Formel" ähnlich sieht. Ein technischer wissenschaftlicher Grundsatz, dessen äußeres Gewand in algebraischen Bezeichnungen besteht, ist ihnen schon ein theoretisches Ding, welches der Empiriker vom reinsten Wasser entweder mitleidig oder mißtrauisch betrachtet. Insofern es sich hierbei um ein einseitiges Formelnschmieden handelt, ist dieses Mißtrauen auch gerechtfertigt, aber nicht ein solches gegen Theorie überhaupt. Außer der Thatsache, daß die Theorie in nicht wenigen Fällen große Leistungen der Praxis erst hervorgerufen hat, ist nicht außer Betracht zu lassen, daß es durchaus nicht nothwendig ist, daß eine Theorie direkt praktisch anwendbar sei; wenn sie nur überhaupt das Wissen vermehrt. Eine andere Kategorie von Technikern besteht in denen, welche in dem Besitze von bequem zurechtgelegten Formeln für verschiedentliche Fälle zufrieden sind und glauben, dadurch weiteren Nachdenkens enthoben zu sein. Wohl ist nicht zu verkennen, daß nicht wenige Techniker durch die Anforderungen ihres mit Regulativwirthschaft und Verordnungswesen unnöthig vollgestopften Amtes nie Zeit gewinnen können, selbständig weiter zu studiren und zur Vermehrung des „Wissens der Wissenschaft" beizutragen. Solchen kann kein Vorwurf gemacht werden, welcher vielmehr häufig solche, nicht technisch gebildete Vorgesetzte trifft, die ihr Heil in der möglichst großen Zahl von Registrandennummern suchen. Diejenigen Techniker aber, denen bei liberaleren Einrichtungen Zeit gegeben ist, sollten mit der Benutzung von Formeln keinen Formelautoritätsglauben verbinden, der ihnen den Weg der eignen Forschung versperrt.

Von Praktikern wird anderntheils aber auch über Theoretiker geklagt, welche von der Erfahrung geringschätzig denken und dann denselben Fehler der Einseitigkeit begehen, wie die zuvor Genannten. Namentlich betrifft dies auch den gewaltigen Irrthum: Wissenschaftlichkeit und logisches Denken fänden nur in der Mathematik ihre Quelle. Um aus einem Chaos von räthselhaften, sich (scheinbar) widerstreitenden Naturdingen einen systematischen Zusammenhang zu erkennen, kann die Aufwendung einer ebenso großen Summe von Verstand und Scharfsinn erforderlich werden, als bei Lösung eines mathematischen Problemes, welcher ohnehin die Klarheit und unbestrittenen Wahrheiten der Mathematik die besten Hülfsmittel bieten. Die Quelle der Logik liegt bekanntlich in einem weit allgemeiner zugänglichen Gebiete, in der Philosophie.

Jenes gegenseitige Sichabschließen zwischen Vertretern der Praxis und der Theorie ist nicht gut und hemmt die Weiterentwickelung solcher Wissenschaften, welche auf Beide angewiesen sind. Praxis und Theorie dürfen nicht in dem Verhältnisse zu einander stehen, wie etwa ein Ehemann zu einer bösen Schwiegermutter. Sie müssen vielmehr wie ein Liebespaar oder Brautpaar sein, von dem gemeinsamen Bande der „Wissenschaftlichkeit" umschlungen. Wenn Helmholtz im Allgemeinen sagt: „das **Wissen allein ist nicht Zweck des Menschen auf der Erde.** Obgleich die Wissenschaften die feinsten Kräfte des menschlichen Geistes erwecken und ausbilden, so wird doch derjenige keine rechte Ausfüllung seines Daseins auf Erden finden, welcher nur studiren wollte, um zu wissen .... Nur das Handeln giebt dem Manne ein würdiges Dasein; also entweder die praktische Anwendung des Gewußten oder die Vermehrung der Wissenschaft (nicht seines eignen Wissens) selbst muß sein Zweck sein. Denn auch das letztere ist ein Handeln für den Fortschritt der Menschheit", — so läßt sich für den **speciellen Fall** (der Hydrotechnik) der Ausspruch Hagen's (in dessen Werke über Wasserbau) zur Seite stellen: „**Die weitere Ausbildung des wissenschaftlichen Theiles der Wasserbaukunde steht zu der Praxis in sehr naher Beziehung, denn nur durch sie darf man diejenige Sicherheit in der Anordnung der Wasserbauwerke zu erreichen hoffen, welche man so häufig vermißt und deren Mangel sich noch immer in der Unzulänglichkeit mancher Anlagen zu erkennen giebt.**"

Diese Abschweifung mußte Verfasser sich gestatten, weil es — was nicht wenige der Herren Fachgenossen mit dem Verf. beklagen — thatsächlich noch Wasserbautechniker giebt, welche selbst hydrologische Untersuchungen für „theoretische Bestrebungen"

*) Ein solches Verfahren wird gegenwärtig vielfach „Experimental-Theorie" genannt. Obgleich Verfasser diese Bezeichnung nicht für ganz richtig hält und dafür eher „Experimental-Systematik" empfehlen möchte, schließt er sich doch dem bestehenden Gebrauche z. B. an, bis auch hierin eine Feststellung geschehen sein wird.

halten, die man entweder huldvoll zulassen wolle oder für ganz überflüssig erklären müsse.*) Das Wesen aber der hydrologischen Untersuchungen hängt mit der Praxis eng zusammen; sie bilden die dringlich nothwendige Grundlage derselben, gleichwie in der Medizin die Bestimmung der Diagnose und des Heilmittels unzertrennliche Dinge sind.

Wenn nun bei hydrologischen, namentlich bei hydrometrischen Untersuchungen die beobachteten Resultate zur Herstellung systematischer Grundlagen dienen sollen, so kommt hierbei viel darauf an, daß die bezüglichen Messungen ꝛc. nicht allein mit den besten Hülfsmitteln ausgeführt werden, sondern auch mit einer Genauigkeit und Umsicht, welche selbst scheinbare Kleinigkeiten nicht unberücksichtigt lassen darf, soweit diese als Fehlerquellen, deren bei dergleichen Beobachtungen nicht wenige möglich sind, auftreten können. Verfasser wird daher in vorstehenden Mittheilungen die Details der Hülfsmittel und des Verfahrens speciell erwähnen, einestheils, weil ihre Beschreibung zur Beurtheilung der Zuverlässigkeit der Resultate gehört, anderntheils, um Studirenden technischer Hochschulen oder jüngeren Hydrotekten die Nothwendigkeit ihrer Beachtung darzulegen.

Der Hydrotekt kann ferner seine Instrumente (Hydrometer), auf deren Construction und Behandlung ein nicht geringer Theil des Gelingens beruht, nicht vom Mechanikus erfinden lassen (es sei denn, daß dieser selbst Ingenieur ist); er muß sie selbst erdenken, verbessern, conserviren und hierzu die Erfahrungen zu Hülfe nehmen, welche ihn vertrauter gemacht haben mit dem Elemente, dessen Wesen — wie die Geschichte der Hydrometrie lehrt — nicht so leicht zu ergründen ist. Bezüglich erwähnter Instrumente ist Verfasser seit Jahren und noch heute von verschiedentlichen Fachgenossen Deutschlands wiederholt befragt worden, ob und in wie weit der eine oder andere Apparat sich bewährt habe. Auch in Rücksicht hierauf wird die vorstehende Abhandlung zugleich auf die neueren Instrumente eingehen, soweit sie Verfasser selbst gebraucht und geprüft, resp. zum Theil selbst construirt hat. Dasselbe bezieht sich auf die zur Justirung der Instrumente dienenden Methoden und den Vergleich der Apparate unter einander. Bei dem anderweiten Vergleich der Messungsresultate mit bestehenden (um dem Usus nachzukommen) Experimental-„Theorien" hat Verfasser absichtlich vermieden, die vielen Ausdrücke für die mittlere Flußgeschwindigkeit durch einen neuen zu vermehren, weil er der Ansicht ist, daß alle dergleichen sonst hochschätzenswerthen Bemühungen in dieser Beziehung vergeblich sein werden, solange nicht durch das ganze Deutsche Reich einheitlich und systematisch geplante, hydrologische Untersuchungen der Sammelgebiete ausgeführt sein werden, deren Resultaten-Menge und Arten allein die besten Grundlagen bieten können. Nur bei Besprechung einzelner Detail-Verhältnisse hat Verfasser gesucht, bestimmte Regeln aufzustellen, sofern dieselben der directen Verwendung zu praktischen Zwecken von Nutzen sein können. Im Uebrigen aber hat er sich darauf beschränkt, hinsichtlich des Ausbaues eines Systemes einige Directiven für die Art der Bewegung anzugeben.

Die Untersuchungen des Verfassers über die Ausbildung von Flußbetten, über Wasserstands- und Thalboden-Veränderungen ꝛc. sind in einem besonderen Kapitel zusammengefaßt; nur bei der Abhandlung über den **Rhein** sind sie in dem Abschnitte der hydrometrischen Arbeiten belassen worden, weil sie zu der Gesammtheit der vom Verfasser an jenem Strome gemachten Studien gehören.

Die für hydrometrische, fachwissenschaftliche Untersuchungen erforderlichen Kosten sind oft nicht unerheblich und Verfasser betrachtet als angenehme Pflicht, dankbar zu erwähnen, daß die **Königlich Sächsischen Ministerien des Innern und der Finanzen** für jedes Jahr der Dauer von dergleichen Untersuchungen eine namhafte Summe bewilligt und hierdurch deren Ausführung ermöglicht hatten. Nicht minder dankbar ist auch an dieser Stelle anzuerkennen, daß das **Herzoglich Braunschweigische Staatsministerium** die zu den Untersuchungen (1879) an der Weser erforderlichen Mittel bereitwilligst gewährte, die Ausführung der ersteren nach allen Seiten hin förderte und auch hierdurch zugleich den Studirenden der Herzoglich Technischen Hochschule zu Braunschweig Gelegenheit bot, außer den alljährlich stattfindenden hydrometrischen Uebungen noch speciellere, instructive Studien vornehmen zu können.

Diese nahezu zweiwöchentlichen Untersuchungen an der Weser (bei Holzminden) wurden unter der exakten Assistenz mehrerer (damaliger) Studirenden der Braunschweiger techn. Hochschule, sowie des Herrn stud. Haarmann von der kgl. techn. Hochschule zu Berlin im August 1879 ausgeführt und wesentlich gefördert durch die dankenswerthe und gefällige Unterstützung des Herrn Kreisbaumeister **Müller** in Holzminden. Nicht minder hat Verfasser der Herren Ingenieure **Breust** und **Rubbert** (früher Studirende der herzogl. techn. Hochschule zu Braunschweig) dankend zu erwähnen, welche den Verfasser sowohl bei verschiedentlichen Messungen, als auch bei Ausarbeitung der vorstehenden Abhandlungen in zuverlässiger Weise unterstützt haben.

Schließlich fügt Verfasser noch mehrere Bezeichnungen an, welche überall da, wo nichts Besonderes bemerkt worden ist, folgende Bedeutung haben:

F, f = Flächen; F in der Regel Querprofilfläche.
g = Accelerationsmaß = 9,81 m.
J = relatives Gefälle.
Q = Wassermenge pro Secunde.
R = Querschnittsfläche dividirt durch die Länge des benetzten Umfanges.
u = Anzahl der Umdrehungen.

Geschwindigkeiten:

C = größte Oberflächengeschwindigkeit (am Wasserspiegel) eines Querprofiles.
U_m = wahres Mittel aller V_m, erhalten aus der Division der (von der V_m-Curve sowie der Wasserspiegellinie umschlossenen) Fläche durch die Wasserspiegelbreite.
v = mittlere Geschw. im ganzen Querprofile.
V_m = mittlere Geschw. in einer Vertikalcurve (Curvenfläche dividirt durch Tiefe).
V_o = Geschwindigkeit am Wasserspiegel.
V_s = Geschwindigkeit im Schwerpunkte eines Querprofiles.
Z_m = wahres Mittel aller V_o eines Querprofiles (analog bestimmt wie U_m).

*) Verfasser erinnert an jenes, vor wenigen Jahren erschienene Buch eines technischen Beamten (zum Glück: „a. D."), worin alle und jede wissenschaftlich fördernden Bestrebungen der Einzelnen mit einer Unkenntniß und Verbissenheit herabgezogen werden, welche das (übrigens unbeachtet gebliebene) Buch zu erheiternder Lectüre zu machen vermögen.

Erster Abschnitt.

I.

Neuere Instrumente zur Messung der Stromgeschwindigkeit.

Alle Instrumente, welche benutzt werden, um die Geschwindigkeiten eines Flusses zu ermitteln, geben diese bekanntlich nicht direct an, sondern zunächst erst irgend eine Funktion des Instrumentes, welche in einer bestimmten Beziehung zur Geschwindigkeit steht. Die meisten dieser Instrumente, wie sie zum Theil noch heutigen Tages in Lehrbüchern empfohlen werden, haben sich nicht bewährt. Der Stromquadrant oder hydrometrisches Pendel, der Poletti'sche Rheometer, Blechrädchen für Oberflächengeschwindigkeiten u. s. w. sind veraltete Constructionen, deren Anführung höchstens ein historisches Interesse bietet. Verfasser zählt hierzu ebenso die noch heute angewendeten Stabschwimmer oder auch Flaschenschwimmer, welche beim Schwimmen bis nahe an die Sohle reichen. Mit Hülfe eines Stabes, den man vom Wasserspiegel bis zur Fluß- (oder Gerinn-)Sohle reichen läßt, glaubt man das wahre Mittel V_m aller Geschwindigkeiten in einer Vertikalen zu erlangen, indem man annimmt, daß der Stab dem Mittel aller einzelnen Geschwindigkeiten folge. Ein Beweis dafür, daß dies geschehe, liegt nicht vor; gegen die Anwendung der Stabschwimmer aber sprechen folgende Momente:

1) Der Druck des sich bewegenden Wassers, unter dessen directem Einfluß der Stabschwimmer fortgetrieben wird, ist der lebendigen Kraft des Wassers gleichzusetzen. Nach dem Principe der lebendigen Kräfte sind diese dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional, aber nicht der ersten Potenz. Mithin kann ein Stab nicht mit der Geschwindigkeit V_m schwimmen, selbst wenn die Flußsohle überall eben und gleichmäßig wäre.

2) Dieser letztere Umstand ist aber nirgends zu finden, da die Lage der Sohle in allen Flüssen eine veränderliche ist. Der Stab wird daher gerade diejenigen Stellen der Vertikalebene nicht berühren können, woselbst die Geschwindigkeit meist sehr rasch abzunehmen pflegt, wie dies in der Nähe der Sohle der Fall ist.

3) Neuere Messungen, vor allen diejenigen am Rhein bei Basel (ao. 1867), welche sich neben sorgsamer Genauigkeit auch durch ihre mehrfachen Controlirungen auszeichnen, haben herausgestellt, daß die langen Stabschwimmer nicht die mittlere Geschwindigkeit in einer Vertikalen angeben, sondern einen zwischen dieser und der Oberflächengeschwindigkeit liegenden, also allemal größeren Werth; mitunter sogar letztere Geschwindigkeit selbst.

Namentlich fällt der unter 2) genannte Umstand ins Gewicht. Den Fehler, der hieraus entsteht, hat Mr. Francis in Lowell, Massachusets, dadurch aufzuheben gesucht, daß er einen aus zahlreichen Beobachtungen resultirenden Corrections-Coefficienten*)

$$K = 1{,}000 - 0{,}116\left(\sqrt{\frac{D - D_1}{D}} - 0{,}1\right)$$

aufstellte, in dessen Gleichung D die Wassertiefe und D_1 die Länge des benetzten Schwimmers (gleichviel für welches Landesmaaß) bedeutet. Ob und in wie weit diese Correctur die Resultate der Stabschwimmer in allen Fällen dem wahren Werthe nahe bringt, ist noch nicht erwiesen.

Bei den vorerwähnten Baseler Rheinmessungen kamen zur Verwendung: ein Woltmann'scher Flügel der Juragewässer-Commission; ein desgl. H. Grebenau's, (von Ertel & Sohn in München), verschieden in der Construction vom ersten; eine Darcy'sche Röhre, sowie Oberflächenschwimmer. Die Resultate beider Woltmann'scher Flügel wichen unter einander nur ein halbes Procent ab (was für die Richtigkeit der für beide Instrumente ermittelten Coefficientenreihen spricht). Im Uebrigen ergaben bei prüfenden Vergleichsmessungen:

die Woltmann'schen Flügel eine Geschw.:	v = 2,17 m
die Darcy'sche Röhre (von Salleron):	v = 2,17 m
das Mittel von 9 Oberflächenschwimmern	v = 2,18 m.

Alle vier Apparate konnten somit als Maaßstab zur Beurtheilung von Stabschwimmern dienen. Die Abweichungen waren sehr groß; so z. B. betrug die Abweichung von der (durch vorerwähnte, übereinstimmende Apparate gefundenen) Geschwindigkeit (v = 2,25 m) im Mittel: 0,43 m, im Maximum: 1,02 bis 1,24 m.

Es ist nicht zu verkennen, daß der Stabschwimmer ein bequemes Mittel sein würde, die mittlere Geschwindigkeit in einer dem Stromstriche parallelen Vertikalebene zu bestimmen. So lange aber das Verhältniß zwischen der wahren und der vom Stabschwimmer angenommenen Geschwindigkeit noch nicht präcis festgestellt ist, kann von einer Empfehlung der Benutzung dieses Apparates nicht die Rede sein.

Verfasser wird daher im Folgenden nur diejenigen (von ihm benutzten) Instrumente besprechen, die sich — gleichviel ob älteren oder neuesten Ursprungs — bewährt haben. Man wird hierbei aber zu berücksichtigen haben, daß Instrumente, welche zu wissenschaftlichen Specialforschungen verwendet werden, sich wegen ihrer Complicirtheit nicht immer zu Messungen empfehlen, welche einen localen, praktischen Zweck verfolgen. Die Instrumente, welche hierzu dienen sollen, dürfen bei gleicher Zuverlässigkeit doch nicht complicirt, sondern müssen in Construction und Handhabung möglichst einfach sein.

Ueber die Conservirung der Instrumente wird bei deren Beschreibung Erwähnung geschehen. Im Allgemeinen sei hier nur einer Anforderung gedacht, welche, obgleich ganz selbstverständlich, nicht immer hinreichend beachtet wird. Von Mechanikern werden häufig in die Lager der Welle, auf welche die Flügelschaufeln aufgesteckt sind, Schmiermittel eingebracht, um die Reibung zu vermindern. In Hinblick darauf, daß die Lagerschmiere beim Gebrauch des Instrumentes bald ausgewaschen und dadurch das Verhältniß zwischen Umdrehung

*) Theorie der Bewegung des Wassers in Flüssen und Canälen, von Humphreys und Abbot; deutsch bearbeitet von H. Grebenau.

und Geschwindigkeit wesentlich geändert wird, ist alles Schmieren der Lager entschieden zu unterlassen und da, wo es geschehen, jeder geschmierte Theil vor der Benutzung gründlich zu reinigen. Ebenso fehlerhaft ist es, an solchen, wie überhaupt an Stellen, auf deren Unveränderlichkeit viel ankommt, ein Material zu wählen, welches leicht oxydirt, oder zu weich ist, um gegen Ausschleifungen gesichert zu sein. Endlich wird beim Baue der Instrumente immer noch darin gefehlt, daß gerade die Theile, welche der regelmäßigen Reinigung nach der Benutzung am meisten bedürfen, schwer oder unerreichbar sind, so daß der Hydrotekt nicht im Stande ist, einzelne Theile — wie oft nothwendig oder wünschenswerth — herauszunehmen und zu prüfen. Am meisten zeigt sich dies bei dem z. Z. noch gebräuchlichsten Instrument: dem Woltmann'schen Flügel, dessen Besprechung bei Aufführung der verschiedenen Instrumente zunächst folgen möge.

1. Verbesserter Woltmann'scher Flügel.

Fig. 1 und 2.

Der in dem mechanischen Institut von Ertel & Sohn in München gebaute Hydrometer beseitigt mehrere Nachtheile der gewöhnlichen Construction des Woltmann'schen Flügels. Die wesentlichsten Verbesserungen bestehen darin, daß die zwischen den Bügeln NN befindliche Schnecke der Flügelwelle beim Einrücken in die Zählräder nicht durch einen Draht gehalten zu werden braucht, wie dies an der sonst üblichen Construction nöthig ist. Während bei letzterer durch stärkeres oder schwächeres Andrücken der Schnecke Ungleichmäßigkeiten in der Drehung der Flügelwelle entstehen können, erfolgt hier das Einspielen der Schnecke stets gleichmäßig und zwar in der Art, daß ein Ruck am Drahte A die Schnecke nähert, der zweite sie auslöst, der dritte wieder nähert u. s. f. Der Mechanismus, welcher dies bewirkt, besteht aus einem mit Bleigewicht g beschwerten Hebel b, an welchem ein Daumen D die Zähne eines Sperrrades s verschiebt und hierdurch ein zweites Zahnrad K bewegt. Je nachdem nun ein zweiter, an Bügeln B befestigter Hebel H (Fig. 1 und 2) auf einem Zahne sitzt oder zwischen je zwei Zähnen des Rades K, wird der Bügel B sammt den beiden Zählrädern gehoben oder der Schnecke genähert. Die Stellung in der Zeichnung läßt das Zählwerk ausgerückt erscheinen. Damit ferner die Zählräder während des Herausnehmens aus dem Wasser (zur Ablesung) ihre Stellung nicht verändern, drückt eine, mit genärbtem Guttapercha versehene Feder c gegen die Zähne und hält diese fest. Sehr günstig für eine genaue Einstellung des Instrumentes in die Bewegungsrichtung der Wasserfäden wirkt die Construction, welche den Hydrometer sowohl in der Horizontal- als auch in der Vertikal-Ebene drehbar erhält. Erstres wird wie gewöhnlich durch Drehung des Cylinders R erreicht, dessen Lage durch zwei, auf die Eisenstange gesondert aufzusteckende Klemmringe n fixirt ist. Das vertikale Auf- und Niederbewegen geschieht um eine Achse e, wobei man durch die Stellschrauben m den vertikalen Spielraum erweitern oder mäßigen kann. In Rücksicht auf beide Bewegungen ist das Steuer aus kreuzförmigen Blechtafeln gebildet. Ein Schutzblech vor den Zählrädern verhindert das Eindringen von Pflanzenfasern zc. in die Schnecke.

Der eigentliche Flügel, von 19 cm Durchmesser, hat zwei ebene, unter 45 Grad zur Achse geneigte Schaufeln von 7,5 und 4,5 cm Länge und Breite. Die Einrichtung des Zählapparates beruht auf dem System der Differenzräder, indem von den beiden Zahnrädern das vordere 100, das hintere 101 Zähne hat. Die Schnecke zwischen den Bügeln N schiebt bei jeder halben Umdrehung der Flügelwelle je einen Zahn beider Räder fort, beim ersten je $^1/_{100}$, beim zweiten je $^1/_{101}$ des Umfanges, so daß nach 100 Umdrehungen des ersten Rades oder 50 Umdrehungen der Flügelwelle der Zeiger auf der Theilung des zweiten um einen Theilstrich mehr anzeigt. Das Zählwerk zeigt sonach mit jedem Theilstrich des vorderen Rades $^1/_2$ Umdrehung, mit jedem Theilstrich des zweiten Rades 50 Umdrehungen der Welle an.

Der Hydrometer ist, weil er auch für starke Strömungen und größere Tiefen benutzt werden sollte, kräftig gebaut und erforderte namentlich in Hinblick auf letztere (bis circa 7 m) ein besonderes Gestell zu seiner Benutzung, nach welchem der das Instrument haltende Eisenstab SS Fig. 3 an drei Punkten hinterstützt werden konnte. Der oberste Stützpunkt befindet sich auf einem, aus Latten und Brettern zusammengesetzten Sitzgestell (Fig. 3 und 4. Grundriß) bei O; der nächst untere wird durch ein Gabeleisen K (in Fig. 5. Detail) gebildet, welches auf dem vordersten Tragbalken des Kahnpodiums befestigt ist. Bei noch größeren Tiefen von 4—7 m dienen sodann zwei, am vorderen Ende in eine Gabel auslaufende Eisenstangen G (Fig. 6 und 7) als dritter und unterster Stützpunkt, zu welchem die Fig. 8. 9. 10 die Details angeben. Die Gabelstäbe lassen sich mittelst Handgriffes H (Fig. 6. 10) auf- und niederbewegen und durch Seitendrähte D (Fig. 7) genau einstellen.

Diese Vorrichtung, wie sie von Grebenau für Rheinmessungen angeordnet worden war, hat sich gut bewährt. Verfasser hat mit dem eben beschriebenen Woltmann'schen Flügel am Rhein bei Lauterburg und Germersheim in Tiefen bis 6,5 m Messungen mit ausgeführt, ohne daß eine Oscillation der Eisenstange bemerkbar gewesen wäre, obgleich die Oberflächengeschwindigkeit daselbst circa 2 m und die Geschwindigkeit bei circa 5 m Tiefe noch 1,2 m betrug. Schwankungen des Podiums und somit auch des Instrumentes wurden durch feste Verankerung des Doppelkahnes nach vier Seiten hin vermieden. Weniger genau ist die Ablesung der Tiefe, bis zu welcher das Instrument unter den Wasserspiegel zu versenken ist. Die Eisenstange, auf welche der Apparat aufgesteckt wird, ist in Theile von je 10 cm Entfernung getheilt; je nach der Tiefe wird die Stange um das erforderliche Maaß herabgesenkt, so daß der betr. Theilstrich in der Wasseroberfläche sich befindet. Der vor der Stange sich bildende Wasserschwall erschwert ein genaues Einstellen in das Niveau des Wasserspiegels.

2. Die Darcy'sche Doppelröhre, (Tube-Darcy).

Fig. 11—14.

Die bekannte Pitot'sche Röhre hat im Laufe der Zeit (durch Reichenbach, Weisbach zc.) mehrere Verbesserungen erfahren, welche aber nicht ausreichend waren, das Instrument zu verbreiteterer Anwendung zu bringen. Erst in neuerer Zeit ist es dem Ingenieur Darcy gelungen, den Hydrometer in einer Weise umzugestalten, welche seine Brauchbarkeit wesentlich erhöhet. Das den Namen „Darcy'sche Doppelröhre" (Tube-Darcy) führende Instrument, mit welchem Verfasser in Gemeinschaft mit Grebenau in den Jahren 1868 und 1871 mehrfache Messungen am Rhein ausgeführt, war nach Angaben Bazins in Dijon vom Mechaniker Bonvalot gebaut worden, enthielt aber manches Ueberflüssige, zum Theil Nachtheilige, nach dessen Beseitigung das Instrument folgende Construction hat:

In einem schmalen, hölzernen Gehäuse AB, Fig. 11 und 12 (in letzterer Figur als Schnitt nahe der Röhre), befinden sich zwei Glasröhren, welche Oben und Unten in Messingkapseln gut eingedichtet sein müssen. Hieran schließt sich ein sechsseitiger Stiefel CD von Eisenblech, an dessen

unteres Ende rechtwinklig ein Ansatzrohr F angesteckt wird, dessen Oeffnung 3 mm Durchmesser hat. Zur Seite befindet sich eine Oeffnung G; in diese, resp. in das sich hier anschließende Rohr im Stiefel tritt das Wasser ohne Geschwindigkeit ein, reicht also bis zum Wasserspiegel, während das in F eindringende Wasser durch den Wasserstoß sich über den Wasserspiegel erhebt. Mittelst einer, an den Schlauch S angesetzten, kleinen Saugpumpe werden beide Wassersäulen gleichzeitig in die Höhe bis in die erwähnten Glasröhren gehoben, um die Differenz der Säulen in Augenhöhe ablesen zu können. Hierauf schließt man durch Drehung eines Hahnes K Oben die Luft ab und beobachtet die so frei hängenden Wassersäulen nach ihrer Ortsveränderung und Oberflächendifferenz. Zum Ablesen der letzteren dient am besten ein verschiebbarer Maaßstab, Fig. 13, dessen Nullpunkt in den Scheitel der Concave der höheren Wassersäule eingestellt wird. Zum Zwecke genauer Ablesung der Höhen-Differenz zwischen den sonst unruhig auf- und niederschwankenden Säulen ist am untern Ende der Glasröhren eine Kammer E mit Hebel HH′ angebracht, durch dessen Verstellen (an Schnuren zu handhaben) ein Verschluß gegen das von unten aufdringende Wasser und somit die ruhige Lage der Säulenoberflächen bewirkt werden kann. Bei der Beobachtung bleibt zunächst K und E geöffnet; nach dem Aufsaugen wird K und — wenn die Wassersäulen angenähert beharren — auch E geschlossen. Hierauf liest man ab, läßt dann E wieder öffnen, wartet den Beharrungszustand der mit dem Flußwasser wieder verbundenen Säulen ab, läßt E schließen und bewirkt dann die zweite Ablesung u. s. f. An einem Beobachtungspunkte liest man gewöhnlich 30—60 Male ab und nimmt, nachdem man die Ablesungen je nach dem schwachen Fallen oder Steigen (während des Ablesens) zusammengestellt, das arithmetische Mittel der Notirungen als Höhendifferenz der Wassersäulen an.

Als Beispiel diene folgende Messung:

Querprofil A. 20 m vom linken Ufer entfernt. 0,25 m unter Wasser.

Beginn: 4 Uhr 30 Minuten.

Pegelstand: + 1,23.

(„st" bedeutet, daß die Wassersäulen direct nach der Ablesung etwas stiegen; „f": das Fallen; 0: Beharrung).

19,8 . st	19,2 . 0	19,0 . 0
18,5 . f	19,1 . 0	19,8 . st
18,3 . f	19,7 . st	20,3 . st
18,5 . 0	19,2 . f	19,6 . f
19,4 . st	19,0 . f	18,7 . f
18,2 . f	19,1 . 0	19,3 . st
19,7 . st	20,2 . st	20,2 . st
19,1 . f	18,9 . f	19,5 . f
18,6 . 0	19,1 . 0	17,9 . f
19,0 . 0	19,1 . 0	19,3 . st
189,1 mm Sa.	192,6 mm Sa.	193,6 mm Sa.

Mittel der drei Sa.: 19,17 cm.

Höhendifferenz: h = 0,1917 m.

Zugehörende Geschw.: v = 1,934 m.

Ende: 4 Uhr 40 Minuten.

In diesem Beispiele sind die drei Arten des Verhaltens der Wassersäulenoberflächen in ziemlich gleicher Menge vertreten und zwar:

10 mal: „steigt"
11 „ : „fällt"
9 „ : Null.
Sa.: 30 Ablesungen.

Nennt man die Differenz der Säulenhöhen h, die derselben entsprechende Flußgeschwindigkeit v und bezeichnet man mit δ einen Erfahrungscoefficienten, so ergiebt sich

$$h = \frac{v^2}{2g \cdot \delta^2}$$

oder für Metermaaß:

$$v = \delta \cdot \sqrt{2g \cdot h} = 4{,}429 \cdot \delta \cdot \sqrt{h}.$$

Sobald δ aus bekannten Geschwindigkeiten (mittelst genauen Woltmann'schen Flügels oder Oberflächenschwimmer, am sichersten durch Beide), gut bestimmt ist, empfiehlt sich die Anlegung einer Tabelle, welche die Geschwindigkeiten bei Höhen-Differenzen von je 2 mm angiebt. Die ganze Manipulation: Einstellen, Aufsaugen, 30malige Ablesung ꝛc. dauert bei einiger Uebung circa 10 Minuten. Stets zu beachten ist hierbei, daß das Instrument genau rechtwinklig steht und: daß man die tiefere Wassersäule bei jeder Beobachtung auf möglichst dieselbe Höhe aufsaugt, damit der Grad der hierdurch entstehenden Luftverdünnung bei allen Beobachtungspunkten derselbe bleibe. Für einen und denselben Beobachtungspunkt im Flusse ändert sich die Differenz h, welche in der Mitte der Röhrenhöhe anders ist, als am oberen Ende. Verfasser hat bemerkt, daß bei 1,8 m Stromgeschwindigkeit die Differenz in der Mitte der Röhrenhöhe eine um 5—8 mm geringere war, als wie sie sich am oberen Ende herausstellte.

Der Nachtheil der französischen Construction, von welcher vorher die Rede war, besteht namentlich darin, daß der obere Hahn K die Glasröhren auch einseitig absperren kann. In der Stellung a des Hahnes, Fig. 14, sind beide Röhren verschlossen; bei b links offen, rechts verschlossen; bei c beide Röhren offen und bei d links verschlossen, rechts offen. Zu den Stellungen b und d liegt kein Bedürfniß vor; sie können nur schädlich wirken, wenn man die Stellung a schnell nach c versetzen will, weil sodann die Stellung b, bei welcher die Luft nur in die linke Röhre dringt, allemal mit berührt werden muß, was ein einseitiges Sinken der Säule zur Folge hat. Die Vorrichtung in der Kammer K muß daher so getroffen sein, daß der Hahn nur bei a (beide Röhren zu) und bei c (beide Röhren offen) einwirkt.

Der Nonius zum Ablesen der Höhen-Differenz der Säulen ist in Fig. 11 so dargestellt, wie er am französischen Instrumente angebracht ist. Die Ablesung geschieht jedoch weit schneller und sicherer, wenn der Nonius nicht — wie dort — aus einem, von Oben bis Unten reichenden festen Maaßstab besteht, sondern, nach Fig. 13, bei einer Länge von ungefähr 40 cm verschieblich ausgeführt wird. Während bei dieser Einrichtung der Werth h ohne Weiteres notirt werden kann, sind bei jener Anordnung eine Menge Subtraktionen nothwendig.

Zur Conservirung der Darcy'schen Doppelröhre gehört zunächst die sorgfältige Reinigung der Röhren, namentlich der Glasröhren. Der hierin sich ansetzende Schmutz bewirkt leicht ein einseitiges Abhäriren, resp. eine unsymmetrische Gestalt der Wassersäulenconcave, welche das Ablesen unmöglich macht. Soll mit dem Instrument, nachdem es mehrere Wochen ꝛc. unbenutzt geblieben, gemessen werden, so müssen die Röhren zuvor mit reinem lauen Wasser (mit etwas Seifenzusatz) ausgespült werden. Nicht minder ist darauf zu sehen, daß die Dichtung in den Messingkapseln, welche die Glasröhren mit den Kammern K und E in Verbindung setzen, eine vorzügliche ist; das Eindringen von Luftbläschen bei mangelhafter Dichtung führt zu Fehlern in der Ablesung. Vor der Wiederbenutzung ist daher entsprechend zu prüfen, resp. durch Nachstopfen mit Watte und

Talg oder Wachs nachzuhelfen. Die Hähne bei K und H müssen gut beweglich erhalten werden.

Besonders wichtig ist die Einstellung des Rohres F (Fig. 11) in die Stromrichtung. An der Spitze dieses Rohres befand sich an dem Pitot'schen Instrumente älterer Construction ein ebenso zweckloser als schädlicher Trichter, während der Darcy'sche Hydrometer dem Strome eine feine Spitze entgegenstellt. Um so mehr muß auf jene genaue Einstellung gesehen werden.

Es läßt sich diese nur durch ein besonderes Gestell, Fig. 15. 16. 17, erzielen, welches das Instrument zugleich hält und in die Tiefe führt. Das in diesen Figuren mit denselben Buchstaben wie in Fig. 11 und 12 bezeichnete Instrument wird von drei Preßschrauben 1. 2. 3. in einem Rahmen M gehalten, dessen einer Balken sich um die vertikale Achse LL′ drehen läßt. Mit diesem Rahmen hängt das Steuer Z zusammen, dessen Längsrichtung die des Rohres F ist. Die untere Achsenlagerung L′ ist verstellbar, so daß hierdurch sowie mittelst entsprechend verschiedenen oder gleichen Anziehens der Preßschrauben 1. 2. 3. die Vertikalstellung des Instrumentes, durch Steuer Z die Einstellung von F in die Stromrichtung bewirkt werden kann. Die übrigen Theile des Gerüstes, wie (Fig. 15) Holm mit zwei Seitenstreben und (Fig. 16) in der Mitte dieses Holmes eine Rückstrebe 2c. sind leicht aus der Zeichnung weiter zu ersehen. Die größte Tiefe, bis zu welcher dieses im Ganzen 2,18m lange Instrument versenkt werden kann, beträgt höchstens 1,25m.

3. Der patentirte Hydrometer mit electrischer Leitung

von Prof. Harlacher.

(Fig. 18—20.)

Bei den ursprünglichen Versuchen, die Flügelumdrehungen durch den electrischen Strom auf einem Zählwerk (über Wasser) kenntlich zu machen, hatte man Contaktstellen sorgfältig vom Wasser abgeschlossen. Herr Prof. Harlacher fand jedoch bestätigt, daß die Ablenkung des electrischen Stromes durch hinzutretendes Wasser nicht merklich sei und in Folge dessen das Instrument vereinfacht werden könne. Mit Rücksicht hierauf befindet sich die Flügelwelle in einer Kapsel D, in welche das Wasser eindringt. Auf der Welle sitzt eine excentrische eiserne Scheibe, welche nach jeder Umdrehung an eine, mittelst der isolirten Schrauben K befestigte Feder (in der Kapsel) stößt, deren Federkraft durch Anziehen oder Lösen der Schraube f regulirt werden kann. Sowie der dem Wasser ausgesetzte Contakt zwischen Excenter und Feder eintritt, bewegt sich der electrische Strom durch den isolirten Draht ss in eine cylindrische Kapsel N (Fig. 20), welche — mit dem Cylinder HH durch einen Steg W verbunden, sich beim Ueberstecken über die an einer Seite geschlitzte Röhre R innerhalb der letztren befindet. Ein an jene Kapsel sich anschließendes, oben über ein Führungsrad gelegtes Kabel c, welches zugleich zur Auf- und Niederbewegung des Instrumentes dient und um eine Winde-Trommel T gewickelt ist, führt den Strom weiter durch den Draht i zu einem Zählwerk Z; dieses steht wiederum mit einer Batterie B (Verf. zog die handlichere Flaschenbatterie vor) in Verbindung. Die fernere Circulation des Stromes findet — von der mit D fest verbundenen Messinghülse H ausgehend — in der Eisenstange R, einer Charnierhülse P und dem, die Trommel T haltenden Bügel statt, dessen konischer Zapfen P′ in die erwähnte Hülse P drehbar eingesteckt wird. Die Verbindung mit der Batterie geschieht durch den Draht m. Bei jedem Contakt in D, resp. bei jeder Flügelumdrehung rückt der eine Zeiger des Zählwerks vorwärts, ein andrer Zeiger nach je 100 Umdrehungen.

Die Tiefe der Flügelwellenachse unter dem Wasserspiegel läßt sich leicht an einer, am Gehäuse G (Fig. 18) befindlichen Theilscheibe ablesen. Sobald die Achse in der Wasseroberfläche liegt, zeigt der Pfeil auf Null. Beim Herablassen des Instrumentes durch dessen eigenes Gewicht entspricht je einem Centimeter Versenkung die Fortbewegung des Scheibenzeigers um je einen Theil. Nach der Zeichnung Fig. 18 würde die Welle hiernach sich 6cm unter Wasser befinden. Durch Verschieben eines Sperrhebels h kann die Bewegung von Instrument und Zeiger bewirkt oder sistirt werden. Die am Gehäuse G ersichtlichen, mit dem inneren Getriebe verbundenen Flügel dienen nur dazu, um die Geschwindigkeit des Versenkens zu verringern oder zu vergrößern, je nachdem man die Flügelschaufeln rechtwinklig oder parallel zum Gehäuse G stellt. Das Heraufwinden des Instrumentes geschieht durch die aus Fig. 19 zu ersehende Kurbel mit Sperrhaken.

Da, wie erwähnt, das Instrument in einem Schlitze der Röhre R auf- und niedergeführt wird, so ist ein Drehen des Instrumentes in der Horizontalebene, resp. eine Selbsteinstellung in die Bewegungsrichtung des Wassers ganz ausgeschlossen. Das aus Fig. 18 ersichtliche Steuer dient daher nur als Gegengewicht. In Folge dieser Umstände muß mit der von einem Manne zu haltenden Stange R noch ein besondres Visir in Verbindung gebracht werden, welches stets und sorgfältig mit der Richtung des Querprofiles, in welchem man mißt, in Einklang zu erhalten ist. Es muß hierbei allerdings vorausgesetzt werden, daß die Richtung jedes Wasserfadens zur Querprofilfläche eine vertikale und somit die Richtung der zu untersuchenden Stromstrecke eine streng geradlinige, die Ausbildung des Stromquerprofiles eine ganz gleichmäßige ist. Sonst zulässige Licenzen bezüglich der Abweichungen der Stromrichtung von der Senkrechten (auch Strecken mit sanften Concaven sind zu hydrometrischen Untersuchungen zulässig, sobald die Querprofile unter einander wenig oder nicht abweichen) sind daher bei diesem Hydrometer bedenklich. Außerdem ist sorgfältig darauf zu achten, daß die Stellung der Schraube f nicht wesentlich verändert wird, weil sonst der Druck der damit zusammenhängenden Feder auf die excentrische Scheibe und hiermit auch der Coefficient anders wird.

Eine Verlängerung der Stange R durch Zusammenschrauben einzelner Theile ist wegen des Führungsschlitzes nicht möglich. Bei wesentlicher Aenderung der Tiefe des Querprofiles muß daher auch eine andere, vorräthig gehaltene Stange benutzt werden.

Die Conservirung des Instrumentes erstreckt sich namentlich auf gute Abschließung aller der Theile der Leitung, welche isolirt bleiben müssen, sowie auf sorgfältige Reinhaltung der Contaktstellen; namentlich betrifft dies die dem Rosten ausgesetzte Berührungsstelle der (auf der Flügelwelle aufsitzenden) excentrischen Scheibe; ferner die Verbindung des Kabels c mit dem Ringe der Kapsel N (Fig. 20), sowie die Contakte im Innern des Zählwerkes.

Verfasser hat bei seinen mehrwöchentlichen hydrometrischen Untersuchungen an der Weser (1879) dieses Instrument benutzt. Bekanntlich sind electrische Strömungen resp. deren Leitungen mitunter unzuverlässig. Bei aller Reinhaltung der Verbindungen kamen daher auch hier kurze periodische Unregelmäßigkeiten vor, welche sich dadurch kennzeichneten, daß der im Zählwerk befindliche Anker wohl anspielte, der Zeiger aber in einzelnen Fällen nicht fortrückte. Jeder dieser hörbaren Schläge des Ankers mußte daher als geschehene Flügelum-

drehung in allen den Fällen besonders notirt werden, in denen das Zeigerwerk versagte.

Gegen Ende der genannten Arbeiten rührten sich die Zeiger nicht mehr von der Stelle und nur das Klappen des Ankers war hörbar. Bei den vielen Möglichkeiten der Ursache hierzu hätte müssen der ganze Apparat auseinander genommen und geprüft werden. So mitten auf dem Strome war dies unthunlich. Zufolge dessen versuchte Verfasser, statt des Zählwerkes Z ein Telephon zu verwenden, welches den Contakt der excentrischen Scheibe durch einen scharfen knirschenden Laut zu erkennen gab. Die Anzahl der auf diese Weise gehörten Umdrehungen wurde durch Bleistiftstriche notirt. Dieses Verfahren brachte den Verfasser auf die Idee, die Flügelumdrehungen durch die einfachste Art der Fortpflanzung des Schalles hörbar und den Beobachter von den vielfachen Rücksichtnahmen bei electrischer Leitung und deren Complicirtheit ganz unabhängig zu machen. Es führte dies zu der Construction des im Folgenden beschriebenen Instrumentes.

4. Hydrometer mit Schall-Leitung.

Vom Verfasser.

(Fig. 21—25.)

Die ersten Versuche zur Durchführung vorläufig des Principes waren nicht so einfach, als die große Einfachheit des Instrumentes vermuthen lassen könnte. Zunächst mußte untersucht werden, ob der Ton eines unter Wasser geführten leisen Schlages auf einem gut schallleitenden Körper (Eisendraht) durch das Wasser namentlich bei starker Strömung sehr geschwächt würde. Nicht minder bot anfänglich die Art der Festhaltung resp. der Verbindung eines Drahtes mit dem Instrument mancherlei Schwierigkeiten dar, zumal da weniger oder wenig elastische Körper den Schall absorbiren und somit ganz vermieden werden müssen. Endlich stellte sich der Verfasser zur Aufgabe, das Instrument so einfach und bequem als möglich, aber auch exakt wirkend und derartig zu construiren, daß unvermeidliche Ursachen zu Fehlerquellen wenigstens auf ein Minimum reducirt wurden. Vor allem mußte die Selbsteinstellung der Flügelachse in die Stromrichtung gewahrt werden.

Das in Fig. 21 und 22 (Grundriß) in der Gesammtübersicht gezeichnete Instrument besteht aus einer, in einer flaschenförmigen, zum Aufklappen eingerichteten Kapsel (Fig. 23 und 24) lagernden Welle, auf deren vorderes Ende die Flügelschaufeln aufgesteckt werden, während nahe dem anderen Ende (im Innern der Kapsel) eine geschlitzte Scheibe aufsitzt, mit welcher ein kleines Hämmerchen k leicht drehbar verbunden ist. Eine Schraube s hält einen circa 6mm dicken Eisenstab ski, dessen anderes Ende i mit einer Klemmschraube versehen ist, mittelst deren ein etwa 2mm starker, ungeglühter Eisendraht dd befestigt werden kann. Letzterer wird, wie aus Fig. 21 zu ersehen, über Wasser auf beliebige Länge zusammengerollt und oben angehängt. An irgend einer Stelle dieses Drahtes wird sodann ein kürzeres Drahtstück angeklemmt und mit einem kleinen, auf dem Verpackungskasten stehenden Resonanzkasten R durch Schraubenpressung verbunden. Sobald eine Umdrehung der Flügel erfolgt, schlägt das Hämmerchen k auf den Eisenstab; der hierdurch entstehende, unter Wasser nicht hörbare Ton pflanzt sich sogleich in dem Eisendrahte fort und wird durch den Resonanzkasten R so laut vernehmbar, daß man ihn noch auf circa 15 Schritt Entfernung hört. Nächst dem Tannenholz besitzt das Eisen die größte Schallleitungsfähigkeit; sie ist $16^2/_3$ mal größer als die der atmosphärischen Luft. Nimmt man die Leitungsfähigkeit der letzteren zu circa 340m pro Secunde an, so wird hiernach im Eisendraht ein Schall 5664m pro Secunde zurücklegen und die Zeit, welche der Schall braucht, um bei etwa 7m Entfernung des Instrumentes vom Resonanzkasten in diesen zu gelangen, angenähert $^1/_{1000}$ Secunde betragen. Man ersieht hieraus, daß für vorliegenden Zweck die Leitung des Schalles die auf complicirtem Wege zu bewerkstelligende Leitung des electrischen Stromes völlig ersetzt. Auch ist man unabhängig von der Entfernung und könnte, wenn dies unbedingt erforderlich wäre, bei einem breiten Strome auch vom Ufer aus am Resonanzkasten die Umdrehungen zählen. Alle anderen Materialien*), wie Messing-, Kupfer- 2c.-Draht, sind wegen ihrer beträchtlich geringeren Leitungsfähigkeit nicht zu empfehlen. Beim Gebrauche des Instrumentes wird zunächst in den Flußgrund eine nahezu 4cm dicke, eiserne Stange (Röhre) eingeschraubt, welche an der unteren Spitze nach der Art der Schraubenpfähle mehrere kräftige Gewinde besitzt. Die Eisenstange, welche durch Zusammenschrauben einzelner Stücke je nach der Wassertiefe bequem verlängert werden kann, erhält durch vorerwähnte Schraubengewinde am untern Ende einestheils festeren Halt gegen Nachsinken, anderntheils wird das Instrument, wenn es etwa durch Mißgeschick der Hand entfällt, durch das Gewinde unten aufgehalten. Ueber die Eisenstange wird sodann ein mit Röllchen versehener Cylinder cc (Fig. 23 und 24) geschoben, das Instrument mittelst Charniertheile an c angebracht, so daß es auf einem vorspringenden Ringe v jenes Cylinders — in der Horizontalebene beweglich aufsitzt. Beim Zusammenschrauben der Charnierbacken n (Fig. 23) wird zugleich das Steuerblech mit eingeschraubt.

Das Aufziehen oder Versenken des Instrumentes geschieht durch eine Kette (in der Art einer Meßkette) mit Gliedern von 10cm Länge und Eintheilung bis auf 5cm. Durch eine gut regulirbare, einfache Klemmvorrichtung w (Fig. 21, 21a oder 21b) kann diese Kette oben festgehalten und an der Kette zugleich die Tiefe der Flügelachse unter dem Wasserspiegel abgelesen werden. Wie Verfasser in der deutschen Bauzeitung No. 43. 1880 mitgetheilt, kann an Stelle dieser Einrichtung auch ein durch eine Windetrommel (Fig. 21c) abzuwickelndes dünnes Drahtseil benutzt, das Ablesen der Instrumenttiefe an der — alsdann durch Markstriche einzutheilenden — Eisenstange bewirkt werden. Doch bleibt die ersterwähnte Vorrichtung weit einfacher und weniger Raum einnehmend. Die Windetrommel wird nur dann zu verwenden sein, wenn man beabsichtigt, das Instrument als Strom-Integrator zu benutzen, oder es gleichmäßig zu heben und zu senken, um aus der hierdurch erhaltenen Geschwindigkeit (dividirt durch die Tiefe) zu untersuchen, ob dieser Werth dem V_m entspricht.

Eine auf dem Kahnpodium oder dergl. verschiebbar an-

*) Setzt man die Schallgeschwindigkeit (pro Secunde) der Luft = 1, so ist die vom:

Fischbein = 6,666
Zinn = 7,5
Silber = 9,0
Nußbaumholz, Taxus, Messing, Eiche } = 10,666
Kupfer = 12
Weide, Pinie } = 16
Glas, Eisen } = 16,666
Tanne = 18
Wasser = 4,27

gebrachte Gabel gg Fig. 21 dient bei fester Verankerung des Doppelkahnes als Stützpunkt für die Eisenstange; doch muß diese bei der Beobachtung stets von einem Manne gehalten werden, welcher zugleich darauf zu sehen hat, daß die Eisenstange nach Maaßgabe eines angehängten Lothes in senkrechter Stellung verbleibt, was keinerlei Mühe verursacht. Die beiden Flügelschaufeln sind (Fig. 22) in Form von Schraubenflächen gekrümmt und trotz ihrer kräftig gehaltenen Wanddicke leicht beweglich.

Das Zählen der Umdrehungen oder der Töne kann einfach durch Bemerken mittelst Strichen geschehen. Jedoch ist es rathsamer, statt dessen ein Zählwerk, Fig. 25, zu benutzen, welches — in Form einer größeren Taschenuhr — sich leicht mit dem Daumendruck bewegen läßt und dem Beobachter gestattet, auch auf die Umgebung ungezwungen Achtung zu geben. Bei Ankunft von Schiffen, dem Anschwimmen von Aesten 2c. ist dies von besonderem Vortheil. Mit dem Drucke des Daumens bewegt sich der längere Zeiger des Zählwerkes um einen Theil vorwärts; nach je 100 solcher Theile springt der kleinere Zeiger um einen Theil weiter. Bei einer Umdrehungszahl der Flügel, welche einer Geschwindigkeit bis zu etwa 1 oder 1,5 m pro Secunde entspricht, läßt sich jede Umdrehung noch bequem durch einen Daumendruck fixiren. Sind die Geschwindigkeiten aber größer, so würde der Daumen leicht ermüden, weßhalb sodann zu empfehlen ist, nach je 3 oder 4 Umdrehungen zu drücken, nach der Beobachtung die abgelesene Zeigerzahl mit 3 oder 4 zu multipliciren und die etwa über den letzten Druck hinaus noch gehörten Schläge zu addiren. Das Ohr gewöhnt sich so schnell und sicher an den regelmäßigen Takt des Drei- oder Vierschlages*), daß ein Fehler nicht vorkommen kann. An Stelle des Resonanzkastens läßt sich auch ein Telephon (ohne Batterie) benutzen, ebenso eine gewöhnliche Tannenholzscheibe (von circa 6 cm Durchmesser und 2 bis 3 cm Dicke), in welche das Drahtende einfach eingesteckt wird. Jedoch erfordern diese Mittel, daß man die eine Hand zum Andrücken ans Ohr verwenden muß. Das beschriebene Zählwerk ist nach Verfassers Angabe von Schäffer & Budenberg in Buckau-Magdeburg ganz vorzüglich angefertigt worden.

Bei großen Geschwindigkeiten und Tiefen fängt der Draht d zu schwirren an. Obgleich man trotzdem den Schlag des Hämmerchens durch hört, ist dieses Nebengeräusch nicht angenehm. Man kann dieses jedoch leicht umgehen, indem man den Draht von i (Fig. 23) aus beliebig biegt, so daß er nicht seitlich, sondern hinter der Röhrenstange sich befindet. Auch läßt sich der Draht gänzlich entbehren, wenn man den Resonanzkasten mit dessen Bodenfläche an die Eisenstange befestigt, welche ebenfalls — wenngleich nicht so kräftig wie der Draht, aber doch deutlich — den Schall weiter befördert.

Das Zusammenstellen, resp. Wiederabnehmen und Verpacken ist schnell und einfach zu bewerkstelligen. Beim Transport kommt nur ein, in einer Hand tragbares Kästchen und 1 bis 3 zusammenschraubbare Eisenstangen von je circa 2,5 m Länge in Betracht.

Bezüglich eines vom Verfasser construirten, nur in kleineren Wasserläufen verwendeten Instrumentes, bei welchem aus dem, in einer Röhre erzeugten Luftdrucke die Geschwindigkeit bestimmt werden kann, verweist Verfasser auf die Beschreibung in der Deutschen Bauzeitung Nr. 26. 1873. S. 100—103.

*) Verfasser hat auch in einem Gerinne bei mehr als 4 m Geschwindigkeit geprobt und das Zählen (aller 4 Schläge ein Daumendruck) bequem und sicher gefunden.

5. Oberflächenschwimmer.

Die Einreihung des Oberflächenschwimmers in das Capitel „Neuere Instrumente" 2c. ist hinsichtlich seiner bekannten Form und Verwendung nicht direct gerechtfertigt. Da er aber zur Vervollständigung der Behandlung dieses Abschnittes hierein gehört, in der Regel als geeignetes Mittel zum Vergleiche mit neueren Instrumenten dient und endlich mit ihm neuere Beziehungen zwischen verschiedenen Geschwindigkeiten gefunden werden können, so möge über ihn und seine rationelle Anwendung an dieser Stelle eine speciellere Betrachtung folgen. Mit Berücksichtigung der einleitenden Worte zum ersten Abschnitt (über längere Stabschwimmer) sei unter dem Worte „Schwimmer" ein für allemal nur der Oberflächenschwimmer verstanden.

Zu den schwimmenden, als directe Geschwindigkeitsmesser dienenden Körpern können selbstverständlich größere Gegenstände, wie Kähne, Schiffe 2c. nicht gezählt werden, von denen bekannt ist, daß sie die Beschleunigung des Falles, welche in der Bewegung des Wasserkörpers durch innere Störungen und Adhäsion an den Wänden aufgehoben wird, eher annehmen und daher auch etwas schneller als das Wasser selbst fließen. Als Schwimmer können mithin nur kleinere Gegenstände benutzt werden. In früherer Zeit verwendete man hierzu Hohlkugeln von Metallblech, von denen man zwei durch einen dünnen Draht verband. Die eine Kugel, welche tief, etwa nahezu am Boden schwimmen sollte, wurde entsprechend beschwert. Die Annahme, die Geschwindigkeit der so verbundenen Kugeln entspräche einer mittleren Geschwindigkeit zwischen denen der Kugeln, ist nicht richtig, weil dies voraussetzt, daß man für das Gesetz der Geschwindigkeitsabnahme von Oben nach Unten eine Gerade substituiren könne, was thatsächlich nie der Fall ist. Außerdem haben vielfache Messungen des Herrn Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. Rühlmann ergeben, daß solche Kugeln sehr unregelmäßig schwimmen.

Verwendet man nur eine Kugel (für die Wasserspiegelgeschwindigkeit), so ist, da erfahrungsgemäß die Form des Schwimmers keinen Einfluß auf die Geschwindigkeiten hat, nicht einzusehen, warum man eine so kostspielige Form wählt, welche erfordert, daß man die Schwimmer in umständlicher Weise immer wieder auffangen lassen muß.

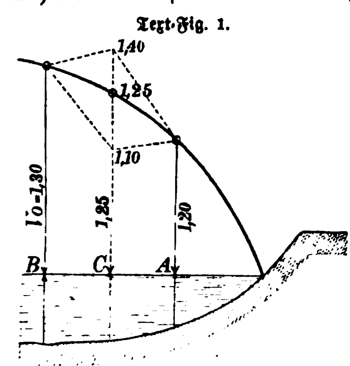
Am geeignetsten macht sich der Hydrotekt seine Schwimmer selbst. Für kleine Flüsse und Bäche genügen hierzu Rundholzabschnitte (etwa Scheiben von 5—10 cm Durchmesser, circa 3 cm Dicke) vollkommen; für größere: Stangenabschnitte von etwa 20 bis 40 cm Länge und 4 bis 5 cm Durchmesser. An das untere Ende der letzteren werden — damit der Schwimmer möglichst senkrecht eintaucht — Steine gebunden, Fig. 26; am obern, etwa 10 bis 15 cm über den Wasserspiegel hervorragenden Ende wird die Rinde zur Hälfte des Umfanges abgeschält, damit bei wechselnder Beleuchtung bald der hellere bald der dunklere Streifen sichtbar wird. Solcher Schwimmer werden von einem Meßgehülfen 2c. in wenigen Stunden 50 bis 100 Stück gemacht; bei ihrer Billigkeit brauchen sie auch nicht wieder aufgefangen zu werden.

Für den Fall, daß es sich darum handelt, das Verhältniß $\frac{v}{C}$, oder die Curve der Wasserspiegelgeschwindigkeiten zu ermitteln u. s. w., ist es nicht gleichgültig, in welcher Weise man mit der Anzahl und Vertheilung der Schwimmer verfährt. Wie wir später bemerken werden, zeigt die Curve der V_0 in Fluß- oder Stromquerprofilen, welche sich zu hydrometrischen Untersuchungen eignen, eine offenbare Uebereinstimmung mit

der Form des benetzten Umfanges, vorausgesetzt: daß jene Curve richtig ermittelt worden ist. Es führt uns dies zunächst auf einen Punkt, von dessen Berücksichtigung die Correctheit der Untersuchung mit abhängig ist.

Wenn man nämlich in einem Querprofile mit stetig abnehmenden Tiefen — wie in Textfigur 1 — bei einem Punkte B die Wasserspiegelgeschwindigkeit beispielsweise zu $V_o = 1{,}30$m zuverlässig genau ermittelt hat, bei einem andern Punkte A zu $V_o = 1{,}20$m, so muß die V_o-Curve ebenfalls eine conforme Stetigkeit besitzen und in der Mitte bei Punkt C die (vom Wasserspiegel aus aufgetragene) Geschwindigkeit angenähert 1,25 m betragen. Eine Zickzackform ist an solcher Stelle nicht möglich. Gesetzt jedoch, es sei eine solche mittelst eines Schwimmers bei C gefunden worden und V_o betrage hier etwa 1,1 m oder 1,4 m, was sich leicht ereignen kann, so liegt die Ursache hierzu entweder in zufälligen Störungen (momentane Wirbel, Windstöße 2c.) oder in den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern, welche namentlich bei Schwimmern vorkommen und hauptsächlich bei zu geringer Weglänge des Schwimmers große Werthe annehmen können.

Text-Fig. 1.



Ein Fehler in der Beobachtungszeit von 1 Secunde kann sehr leicht entstehen. Wenn daher die Weglänge z. B. 30 m beträgt, so erhält man bei 20 Secunden Zeit die Geschwindigkeit: 1,500 m; bei 21 Secunden Zeit dagegen: 1,428 m, mithin eine Differenz, welche um circa 5 Procent kleinere Werthe ergiebt.

Aus dem Bemerkten folgt sonach, daß es richtiger ist, in der Breite des zu untersuchenden Wasserspiegels nicht zu viele Punkte zu wählen, an jedem dieser Punkte aber mit einer größeren Anzahl von Schwimmern zu operiren. Das noch heute z. Th. angewendete Verfahren, wonach z. B. 50 Schwimmer auf etwa 25 verschiedene Punkte der Wasser-Breite einzeln vertheilt werden, ist sonach unzweckmäßig, dagegen vorzuziehen, nur etwa 5 Punkte und an jedem dieser Punkte 10 Schwimmer zu beobachten.

Bei der Wahl der Anzahl solcher Punkte kommt selbstverständlich die Gestalt des Querprofiles und — wie schon früher erwähnt — die Zeit, welche die Beobachtungen erfordern, wesentlich in Betracht. Je kürzer letztere werden kann, desto mehr ist eine beharrende Wasserstandshöhe zu erwarten und umgekehrt. Die Weglänge des Schwimmers hängt von der Oertlichkeit ab; doch ist im Allgemeinen zu empfehlen, als geringste Länge bei kleinen Flüssen circa 25 m, bei großen dagegen 100 m anzunehmen.

Die Art des Verfahrens, nach welchem vom Verfasser die Schwimmer auf Strömen beobachtet worden sind, ist in dem Abschnitte beschrieben, welcher die hydrometrischen Untersuchungen an der Elbe behandelt.

Ueber die Vorsicht, welche man bei Untersuchungen mit Schwimmern gebrauchen muß, resp. über die etwa erforderliche Verkürzung des Schwimmerweges hat Verfasser im vierten Abschnitte am Schlusse der Abhandlung unter 1, $\left(\text{Verhältniß } \frac{v}{C}\right)$ Erwähnung gethan.

II.

Vergleichung verschiedener Instrumente.

Im vorhergehenden Theile I. sind Instrumente der verschiedentlichsten Gestaltung dargestellt, welche in den Einzelheiten wesentlich von einander abweichen. Dem Constructions-Principe nach zerfallen sie in drei Gattungen, je nachdem die Geschwindigkeit bestimmt wird

mittelbar:

1) aus den Umdrehungen von, durch den Wasserstoß getriebenen Flügeln,

2) aus der Höhe, um welche eine Wassersäule durch den Stoß oder die Geschwindigkeit des Wassers über den Spiegel des letzteren getrieben wird,

und unmittelbar:

3) aus der Geschwindigkeit, welche ein kleiner, auf der Oberfläche schwimmender Körper annimmt.

Jede dieser drei Gattungen hat ihre besonderen Vorzüge, welche in dem einen oder anderen Falle zur Geltung kommen. Im Allgemeinen aber verdient die zuerst genannte Gattung der Instrumente mit Flügeln bis jetzt den Vorrang, weil diese bei gleicher Zuverlässigkeit eine weit ausgedehntere Anwendbarkeit in sich schließen; sie werden daher von Hydrotekten vorwiegend benutzt, gleichviel, ob es sich hierbei um rein fachwissenschaftliche oder um Zwecke der directen Wasserbaupraxis handelt.

Was die einzelnen Arten der erstgenannten Gattung betrifft, so ist der eigentliche „Woltmann'sche Flügel", selbst der unter I. 1) beschriebene verbesserte, durch die Instrumente von Amsler-Laffon, Prof. Harlacher und — ohne unbescheiden zu sein — vom Verfasser, weit überholt worden. Der „Woltmann'sche Flügel" hat stets den Nachtheil, daß nach jeder Beobachtung das Instrument des Ablesens halber aus dem Wasser gezogen werden muß, welche Manipulation sich in dem Querprofil eines mäßigen Stromes 100—200 Mal wiederholen kann. Der dazu erforderliche Zeitaufwand macht sich namentlich dann sehr empfindlich bemerkbar, wenn während der Beobachtung der Wasserstand sich ändert. An Woltmann'schen Flügeln, welche nicht die früher beschriebene Verbesserung der Aus- und Einrückevorrichtung (Fig. 2 zu Fig. 1) an sich haben, sondern bei denen die Schnecke durch permanentes Anziehen eines Drahtes zum Eingreifen in das Zählrad gebracht wird, wirkt dies insofern ungünstig, als gerade bei Beginn der Beobachtung jenes Anziehen eine momentane, mehr oder weniger starke Hemmung oder wenigstens Verringerung der Umdrehungsgeschwindigkeit bewirkt. Verfasser hat an Instrumenten älterer Construction die Dauer solcher Stockungen bis zu 4 Secunden beobachtet. — Sehr wesentlich ist auch der Nachtheil, daß das Instrument nach Lage der Sache nicht an einer fest in der Flußsohle steckenden Stange geführt werden kann, sondern daß es den Schwankungen des Doppelkahnes folgt. Wohl lassen sich letztere durch außerordentlich feste Verankerung der Kähne vermeiden, doch erfordert dann diese, bei jeder Vertikalcurve sich wiederholende Vorkehrung erheblich mehr Zeit, mit welcher — wie erwähnt — im Interesse der Benutzung des Beharrungszustandes des Wasserspiegels gegeizt werden muß. Bei großen Tiefen kommt noch das

Oscilliren des im Wasser frei schwebenden unteren Endes der Stange hinzu, welches sich auf die Flügel überträgt. Die unter I. 1) beschriebene Gabelvorrichtung verhütet zwar diese nachtheiligen Schwingungen, doch ist auch diese wieder nicht ohne Mehraufwand an Zeit zu dirigiren und außerdem eine zugleich umständliche Vermehrung der Hülfsapparate.

Das Fehlen dieser Nachtheile bildet bei den Instrumenten mit electrischer oder mit Schall-Leitung deren Vorzüge; nur hat die Schall-Leitung vor der electrischen voraus, daß der betr. Apparat bedeutend einfacher und — bei Berücksichtigung nicht ausgeschlossener Störungen des electrischen Stromes — zuverlässiger ist. Auch der Umstand, daß die Flügelachse ebenso wie beim (verbesserten) Woltmann'schen Flügel sich von selbst in die Stromrichtung einstellt, kommt als Vorzug vor den Apparaten mit electrischer Leitung wesentlich in Betracht.

Die zweite Gattung der Instrumente (die verbesserte Pitot'sche Röhre) ist nur bei geringen Tiefen anwendbar und erfordert in der Construction der Darcy'schen Doppelröhre umständliche Gerüste, da es hier weit mehr als bei den Flügelinstrumenten auf den genauesten senkrechten Stand ankommt. Die Eigenschaft aber, daß man mit dergleichen Instrumenten bis hart an der Sohle und den Wandungen Geschwindigkeiten messen kann (s. Fig. 86), bildet einen Vorzug vor den Apparaten der ersten Gattung. Daß die Darcy'sche Röhre ebenso genaue Resultate liefert, wie die anderen Instrumente, werden wir später an einem Beispiele sehen. Im Allgemeinen ist sie aus den angegebenen Gründen zu dem Gebrauche für praktische Zwecke nicht zu empfehlen, wohl aber dann, wenn es sich um specielle wissenschaftliche Untersuchungen handelt, bei denen ein höchstens 1,25m tiefer Fluß als ausreichend erscheint. Es bezieht sich dies z. B. auf genaue Untersuchung der Abnahme der Geschwindigkeit nach den Ufern zu, auf genauen Anschluß der Vertikalcurven an die Sohle, auf Messungen im (nicht blos wie bei Flügelinstrumenten: am) Wasserspiegel 2c. 2c.

Der Oberflächenschwimmer endlich, als das natürlichste und einfachste Mittel, ist überall zu gebrauchen, dafern der Wind seinen Verlauf nicht beeinflußt und der Wasserspiegel keine wellenförmige Gefällslinie hat. Die Schwimmerbeobachtungen dienen nicht allein zu directen Geschwindigkeitsermittlungen an der Oberfläche, sondern sind auch, wie wir später sehen werden, zur angenäherten Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit entweder in einer Vertikalen, oder im ganzen Flußquerprofil sehr geeignet, sobald es sich um einen, für praktische Bedürfnisse ausreichenden Näherungswerth handelt.

Endlich ist der Oberflächenschwimmer ein Mittel zur Controlirung von Geschwindigkeitsmessungen, welche durch andere Instrumente bereits bestimmt worden sind. Verfasser nimmt diese Controle in der Regel vor und ist der Ansicht, daß sie wo irgend möglich bei allen Messungen ausgeführt werden sollte, vorausgesetzt, daß das Wetter günstig und der Wasserstand nahezu derselbe geblieben ist. Es begründet sich diese Ansicht namentlich durch den Umstand, daß der Hydrotekt nach den Messungen oder nach längerem Nichtgebrauche des Instruments nicht immer volle Gewißheit darüber hat, ob die Coefficienten des letzteren noch dieselben geblieben sind. Die Möglichkeit, daß z. B. bei Flügelschaufeln mit ebenen Flächen der Winkel, unter welchem sie zur Wellenachse stehen, sich durch Stöße nicht bemerkbarer schwimmender Körper verändert, ist nicht ausgeschlossen und vielleicht läßt sich manches außergewöhnliche Intervall zwischen je zwei Umdrehungen, wie es nicht selten bei der Beobachtung sich kund giebt, auf einen Angriff auf einzelene Constructionstheile zurückführen.

Es wird hier der Ort sein, der unrationellen Art und Weise zu gedenken, in welcher hydrometrische Untersuchungen mitunter vorgenommen worden sind und noch werden. Man kann öfters lesen, wie man sich darauf beruft, daß die oder jene Messungen mit dem „Woltmann'schen Flügel" ausgeführt worden seien und glaubt, daß in Folge dieses Zusatzes nun auch die Messungsresultate als richtig angesehen werden müßten. Wie aber hat es mit der Bestimmung der Gleichung für die Beziehung der Geschwindigkeit zu den Umdrehungen ausgesehen? Verfasser kennt Beispeile, nach welchen der betr. Techniker die Coefficienten in der primitivsten, sogar in ganz falscher und flüchtiger Weise ermittelte und sie sorglos ein für allemal zu Grunde legte. Aber selbst in Fällen, in denen diese Bestimmung gut und genau ausgeführt war, glaubte man die ermittelten Werthe für ewige Zeiten zu haben und damit basta. Wie das Instrument aus dem Wasser herausgezogen war, so wurde es auch wieder eingepackt und in der Verfassung, in der es sich nach einem Jahre befand, ohne Weiteres wieder verwendet, ohne Conservirung, ohne Controlirung. Diesem Fehler, welcher ebenso bei der Benutzung von jahrelang ungeprüften Secundenzeigern gemacht wird, mag mancher Widerstreit zuzuschreiben sein, wie er sich in veröffentlichten Endresultaten hydrometrischer Arbeiten vorfindet. Wenn man bedenkt, daß mit der Veränderung oder mit den Fehlern des Instrumentes 2c. auch alle, auf den Messungen fußenden, graphischen und rechnerischen Arbeiten falsch werden, so erscheint die vorerwähnte, in der Controlirung durch Oberflächenschwimmer bestehende Vorsicht als doppelt geboten.

Wenn man die Berücksichtigung der Nothwendigkeit, die für die Beobachtungen erforderliche Zeit auf ein Mininum zurückzuführen, sowie die Grenze der Anwendbarkeit der Instrumente außer Acht läßt und nur die gewonnenen Resultate im Auge behält, so werden uns die folgenden Beispiele von Messungen zeigen, daß es rücksichtlich hierauf gleichgiltig ist, mit welchem Instrumente man mißt, sobald nur die Coefficienten genau bestimmt worden sind.

Verfasser führt zunächst die Vergleichsmessungen auf, welche er in Gemeinschaft mit Grebenau im Jahre 1871 am Rhein bei Germersheim vorgenommen, wobei der beschriebene, verbesserte Woltmann'sche Flügel (von Ertel & Sohn in München) mit der Darcy'schen Doppelröhre verglichen werden sollte. Letztere befand sich in der Mitte des Podiums des festverankerten Doppelkahnes. Mit dem Woltmann'schen Flügel wurde um je 70cm zu beiden Seiten von jener entfernt gemessen, jedes Instrument 0,25m unter dem Wasserspiegel eingehalten.

Für den Woltmann'schen Flügel, dessen Coefficienten in stillstehendem Wasser bestimmt worden waren, ergab sich:

Ort vom linken Ufer entfernt:	Umdrehungen pro 2 Minuten	Mittel der Umdrehungen.	Zugehörende Geschwindigkeit v_1 in Metern, pro Sec.
20,7m	406 403 404 414	406,75	1,788
19,3m	407 401 402 410	405,00	1,780

Mittel: $v_1 = 1{,}784$m.

Für die Darcy'sche Röhre (deren Coefficienten durch Oberflächenschwimmer controlirt worden waren), 20m vom linken Ufer entfernt:

Höhendifferenz h in den Röhren		Zugehörende Geschwindigkeit pro Sec.	Beobachter.
Mittel aus je 10 Beobacht. mm	Mittel aus 30 Beobacht. mm	m	
157,5 161,5 164,0	161,0	1,777	Grebenau
159,7 165,6 158,8	161,4	1,777	v. Wagner

Mittel: $v_2 = 1,777$

Die geringe Differenz von $v_1 - v_2 = 7$ Millimeter oder $^{39}/_{100}$ Procent kann nicht weiter in Betracht kommen.

Bei einer zweiten Versuchsmessung wurden die beiden vorgenannten Instrumente noch mit Schwimmern verglichen. Die Darcy'sche Röhre war 37 m vom linken Ufer entfernt, der Woltmann'sche Flügel wie im vorigen Beispiele eingehalten worden. Die lokale Stromtiefe betrug circa 5 Meter. Der Woltmann'sche Flügel ergab hierbei die Geschwindigkeit:

$$\left.\begin{array}{l} 37{,}7\text{ m entfernt: } = 1{,}976\text{ m} \\ 36{,}3\text{ m} \quad „ \quad = 1{,}966\text{ m} \end{array}\right\} \text{Mittel: } v_1 = 1{,}971\text{ m.}$$

Aus 60 Beobachtungen an der Darcy'schen Röhre resultirte im Mittel:

$$h = 190{,}5\text{ mm}$$

und die zugehörende Geschwindigkeit:

$$v_2 = 1{,}940\text{ m.}$$

Die Oberflächenschwimmer (Holzstäbe von circa 50cm Länge, circa 6cm dick; circa 0,35m im Wasser, 15—20cm über Wasser; durch Beschwerung mit Steinen vertikal laufend) — im Ganzen 15 Stück — wurden in der Weglänge von 200m bei genau abgesteckten Querprofilen beobachtet, nachdem durch Einwerfen von Probeschwimmern aus dem oberhalb postirten Nachen ersichtlich geworden, daß jene den Ort berührten, an welchem vorher die Instrumente eingehalten worden waren. Die Weglänge jedes Schwimmers wurde durch Meßtischaufnahme bestimmt. Aus den Mitteln der Zeiten (102 Sec.) und der Wege (200,05m) ergab sich

$$v_3 = \frac{200{,}05}{102} = 1{,}961\text{ m.}$$

Da das Mittel von $v_1 v_2 v_3$ sonach

$$v = 1{,}957\text{ m}$$

beträgt, so ersieht man, daß die Abweichung von diesem Gesammtmittelwerthe

beim Woltmann'schen Flügel circa 0,7 Procent
bei der Darcy'schen Röhre „ 0,86 „
beim Schwimmer „ 0,2 „

beträgt; im Durchschnitt also nur 0,59 Procent vom Mittelwerthe.

Der Vergleich des verbesserten Woltmann'schen Flügels, (welcher vom Verfasser an der Elbe benutzt wurde), mit dem Schwimmer ist am geeignetsten aus dem Abschnitte über die hydrometrischen Untersuchungen an der Elbe zu ersehen. Ein Gleiches gilt von dem Vergleiche des an der Weser verwendeten Harlacher'schen Instrumentes. Im Allgemeinen sei an dieser Stelle hierüber nur Folgendes bemerkt:

a) Großer Woltmann'scher Flügel und Schwimmer (Elbe): bei geringen Abweichungen der Einzelmaaße untereinander beträgt das Mittel der V_o
   1. beim Woltmann'schen Flügel: 0,707m
   2. bei den Schwimmern: 0,702m;
b) Harlacher'sches Instrument (mit electrischer Leitung) und Schwimmer, (Weser):

V_o des Instrumentes	V_o der Schwimmer
0,581	0,580
0,613	0,615

c) Kleiner Woltmann'scher Flügel (ebenfalls von Ertel & Sohn in München) und Schwimmer (Oker):
   1. Instrument: $V_o = 0{,}240$
   2. Mittel aus 7 Schwimmern: $V_o = 0{,}235$
d) Hydrometer mit Schall-Leitung (vom Verfasser) und Schwimmer (Weser):
   1. Instrument: $V_o = 0{,}437$
   2. Schwimmer: $V_o = 0{,}431$.

Mit diesem letzteren Instrument sind vom Verf. z. Z. nur einzelne Vertikalcurven gemessen, die Coefficienten aber speciell bestimmt worden.

III.

Methoden zur Bestimmung des Verhältnisses zwischen Umdrehungen- resp. Wassersäulendifferenz- und Geschwindigkeiten.

In früherer Zeit hatte man vielfach angenommen, daß die Beziehung zwischen der Zahl der Umdrehungen der Flügel (wenn wir vorläufig dergleichen Instrumente im Auge behalten) und der Geschwindigkeit ein constanter Factor und — wenn pro Stunde v die Geschwindigkeit und u die Zahl der Umdrehungen bezeichnen — zu setzen sei:

$$v = b\,.\,u.$$

Man begnügte sich, das Instrument an einer Stange in stillstehendem Wasser mit irgend einer Geh-Geschwindigkeit vorwärts zu bewegen und nahm das so gefundene b für alle Werthe von v als unveränderlich an.

Wenn man auch zunächst von dem primitiven und ungenauen Verfahren selbst absieht, so ist es doch falsch, jenes Gesetz: $v = b\,.\,u$ als ein allgemein und für verschiedentliche Instrumente giltiges vorauszusetzen, ohne zu wissen, wie die Constructionsart des Instrumentes jene Beziehungen gestaltet.

Wenn man aus einer Reihe von Versuchen die Umdrehungszahlen pro Zeiteinheit als Abscissen, die zugehörenden Geschwindigkeiten als Ordinaten aufträgt und die Endpunkte der letzteren entsprechend untereinander verbindet, so kann die hieraus entstehende Linie entweder eine Gerade sein, oder eine Curve. Ergiebt sich die erstere, so muß unstreitig noch ein Summand und zwar diejenige konstante Geschwindigkeit a hinzugefügt werden, bei welcher in Folge von Reibungs- &c. Widerständen des Instrumentes die Flügel still stehen. Die Beziehungsgleichung für diesen Fall lautet sodann:

$$v = a + b\,.\,u$$

wonach also selbst für u = 0 die Geschwindigkeit v = a verbleibt.

Baumgarten (Annales des ponts et chaussées 1847) und andere Autoren stellen den Satz auf, daß die betreffende Beziehung nicht durch das Gesetz einer geraden Linie ausdrückbar, sondern daß der Coefficient des Instrumentes eine von der Geschwindigkeit abhängige variable Größe sei, deren Gesetz sich nur durch eine Curve darstellen lasse. Directe Versuche sollen dies bestätigt haben; nur kann es vorkommen, daß diese Curve so schwach gekrümmt ist, daß man für spätere Geschwindigkeitsmessungen ohne Weiteres eine Gerade substituiren kann. Wir werden dies an den Coefficientengleichungen der im ersten Abschnitte unter I. 3. und I. 4. beschriebenen Instrumente bestätigt finden.

Die Bestimmung der in solchen Gleichungen enthaltenen unbekannten Größen geschieht durch Versuche. Das Verfahren, nach welchem jene ermittelt werden, besteht bekanntlich entweder darin, daß man das Instrument in ein mit Wasser gefülltes, zu verschiedenen Neigungen verstellbares Gerinne einhält, das Gerinnwasser in genau gearbeiteten Gefäßen auffängt, und aus der so erhaltenen Wassermenge sowie dem Wasserquerschnitt des Gerinnes zunächst die mittlere Geschwindigkeit des Gerinnwassers berechnet. Da der Ort dieser Geschwindigkeit nicht bekannt ist und es sich vielmehr um die Bestimmung der Geschwindigkeit derjenigen Punkte handelt, woselbst das Instrument resp. dessen Flügelachse eingehalten worden ist, so werden hiernach unter Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate noch weitere Untersuchungen erforderlich.

Verfasser geht hierauf nicht näher ein, weil das ganze Verfahren ihm nicht empfehlenswerth erscheint. Einestheils sind die soeben erwähnten Untersuchungen so umständlich und zeitraubend, daß ein Hydrotekt der Praxis wohl schwerlich Zeit oder Lust haben wird, diesen Weg zu betreten, zumal da er sich sagen muß, daß durch irgend ein unverschuldetes Mißgeschick (leichte Verbiegungen an den Flügeln ꝛc.) es sich ereignen kann, daß das ganze Verfahren wiederholt werden muß. Anderntheils aber kommt noch ein Umstand hinzu, welchen man nach Lage der Sache nicht umgehen kann: das vorerwähnte Gerinne kann — um dem Wasser durch die Veränderung der Gerinn-Neigung verschiedene Geschwindigkeiten zu verleihen — nie sehr groß sein und hat auch in der Regel eine Breite von nur 30—50cm. Nach den Erfahrungen, welche Verfasser an solchen kleinen Aichgerinnen gemacht, glaubt er zu der Behauptung berechtigt zu sein, daß die locale Geschwindigkeit eines Wasserfadens im Gerinnquerschnitt durch die Einhaltung eines Woltmann'schen Flügels eine andere und zwar kleinere wird, als der Wasserfaden besitzt, wenn das Instrument sich nicht im Wasser befindet. Der Vergleich eines Woltmann'schen Flügels (dessen sorgfältig bestimmte Coefficienten genau mit Schwimmerresultaten übereinstimmten) mit Schwimmern im Gerinne ergab für ersteren stets erheblich kleinere Werthe. Es läßt sich bei so schmalen Gerinnen annehmen, daß durch Eintauchung eines Flügel-Instrumentes, welches in solchem Falle einen beträchtlichen Staukörper repräsentirt, die Widerstände an den nahen Wänden ꝛc. vergrößert werden und auf das Instrument reagiren. Mit dem Wachsen der Breite vermindert sich dieser Einfluß und bei Flüssen und Strömen ist er ganz zu vernachlässigen, nicht aber bei der geringen Breite solcher Versuchsgerinne an hydraulischen Observatorien. Weit geeigneter sind letztere zur Bestimmung der Coefficienten für die Darcy'sche Doppelröhre, da man hier nur die Oberflächengeschwindigkeit braucht und die sehr dünne Ansatzröhre dieses Instrumentes nicht in dem vorerwähnten Sinne stauend wirkt. Zu gehöriger Innehaltung gleichmäßigen Gefälles können die beweglichen Gerinne und somit auch die Wege der als Vergleichsbasis dienenden Schwimmer zwar nicht sehr lang sein, jedoch ließe sich den schon früher erwähnten Nachtheilen zu kurzer Wege durch eine größere Zahl Schwimmer und um so genauere Zeitbeobachtung begegnen, indem man Uhren mit Bruchtheil-Secunden benutzt.

Das andere Verfahren: Ermittlung der Coefficienten (für Flügelapparate) in stillstehendem Wasser — erscheint dem Verfasser weit empfehlenswerther. Man hat dieser Methode zwar den Vorwurf gemacht, daß sich bei ihr keine gleichförmige Bewegung des Instrumentes herstellen lasse, es auch schwierig sei, den Flügel bei der Fortbewegung gut zu halten, u. A. m.; doch lassen sich diese Bedenken, wie wir sehen werden, ohne Weiteres zerstreuen, wenn die erforderlichen Vorrichtungen nur rationell angelegt werden. Es führt uns dies zu der Beschreibung des Verfahrens, mittelst dessen Verfasser seit mehreren Jahren seine Instrumente justirt.

Die hierzu benutzten Vorrichtungen bestehen im Wesentlichen aus zwei Kurbelrädern, Fig. 27 und 28, von je 4m Umfang, welche an den entgegengesetzten Enden eines Teiches postirt werden (Fig. 29). Um diese Räder ist ein Tau geschlungen, dessen Enden an zwei leichte, durch ein Podium um 2,5m parallel auseinander gehaltene Boote angeknüpft sind, so daß beim Drehen der Kurbeln sich dieser Doppelkahn bewegt. Um nun nicht nur eine gleichmäßige, sondern auch eine bestimmte Geschwindigkeit erzielen zu können, sind auf dem Umfange des einen Rades verstellbare eichene Pflöckchen p (circa 1cm dick) eingesteckt, welche beim Drehen eine Feder f heben und fallen lassen. Die drehenden Männer bewegen die Kurbel so, daß der Takt des springenden Zeigers eines Secundenzählers mit dem klappernden Laut der auffallenden Feder in Einklang steht. Der Doppelkahn wird auf diese Weise pro Secunde um soviel fortbewegt, als gerade die Entfernung von Pflöckchen zu Pflöckchen beträgt. Nach der Stellung derselben in Fig. 27 ist die Länge der Fortbewegung pro Secunde 40cm, doch kann man die Pflöckchen auch so verstellen, daß die Entfernung je zweier (sowie die Geschwindigkeit pro Secunde) 10, 20, 50 u. s. w., auch 100—300cm beträgt; bei Gegenwart eines einzigen Pflockes resultirt eine Geschwindigkeit von 4m. Bei kleinen Geschwindigkeiten, etwa bis 30cm pro Secunde, dreht ein Mann das eine Rad direct am Umfange desselben; bei größeren — bis circa 1,8m — müssen zwei Mann an den Kurbeln des Rades drehen (das andere Rad dient nur zur Führung). Zur Erreichung großer Geschwindigkeit bis 3 oder 4m sind auf die Dauer 4 Mann zum Drehen erforderlich. Die Mannschaft ist in Zeit von circa einer halben Stunde eingeübt und vermag somit sehr bald, eine vorgeschriebene Geschwindigkeit gleichmäßig zu erzeugen. Den Beleg hierzu giebt ein Artikel des Verfassers in Nr. 45. der Deutschen Bauzeitung vom Jahre 1879. In gleicher Weise dient hierzu die Tabelle, welche den Mittheilungen über die Bestimmung der Coefficienten des Harlacher'schen Instrumentes beigefügt ist. Man ersieht hieraus z. B., daß bei der beabsichtigten Geschwindigkeit von 0,200m der Doppelkahn in 4 Fahrten die Geschwindigkeit von

0,196 0,203 0,210 0,200m

angenommen hatte;
bei vorgeschriebenen 0,400m:

0,397 0,400 0,404 0,402 0,398m.

Selbst bei absichtlichen, plötzlichen Unterbrechungen der Fahrt zeigte sich eine ähnliche Uebereinstimmung zwischen der projectirten und der thatsächlichen Geschwindigkeit. Der zu den

Versuchsfahrten benutzte, 2—3 m tiefe Teich, welchen die Braunschweigische Eisenbahndirection dem Verfasser in dankenswerther Weise überließ, hat eine Ausdehnung von 120 m. Von dieser Länge konnten nur 70 m als diejenige Weglänge des Doppelkahnes gewählt werden, innerhalb deren die Beobachtungen stattzufinden hatten. Die übrigen zweimal 25 m dienten dazu, um den Doppelkahn schon vor seinem Eintritt in ein Querprofil in gleichmäßigen Gang zu bringen. An dem einen Rande des Teiches wurde eine, zur Fahrrichtung CD, Fig. 30, genaue Parallele AB ausgesteckt und auf dieser in der Entfernung von 70 m die Vertikalen EF und GH, beide durch eingelothete Baken markirt. Sobald die Instrumentstange auf der Strecke CD in die Richtung einer dieser Vertikalen trat, wurde durch einen eingeübten Meßgehülfen ein Signal gegeben, bei welchem sofort die Zeit- und Umdrehungsbeobachtung erfolgte. Zu ersterer dient dem Verfasser ein gutes Chronoscop, an welchem bis auf $^1/_5$ Secunde genau abgelesen werden kann. Hierdurch, sowie durch die Gleichmäßigkeit der Bewegung ist denn auch die Kürze des Weges von 70 m gerechtfertigt.

Nach diesem Verfahren sind ermittelt worden: die Coefficienten

α) des Harlacher'schen Instrumentes,
β) des Instrumentes mit Schall-Leitung vom Verf., sowie
γ) eines kleineren Woltmann'schen Flügels (von Ertel & Sohn in München), mittelst dessen die Messungen in der Oker ausgeführt wurden.

Zum Nachweis der Richtigkeit wird es genügen, nur die zum Instrument unter α) gehörenden Details anzuführen. Zu γ) sei nur bemerkt, daß sich bei diesem Instrument eine Curve von schwacher Krümmung ergab, deren Gleichung vom Verfasser nicht erst aufgesucht wurde, weil das Instrument (wegen der Umständlichkeit des Ablesens) nicht mehr zu Messungen, sondern nur als Lehrgegenstand benutzt werden sollte und außerdem die Geschwindigkeiten an der Oker wenig mehr als 20 cm betrugen.

Die Anzahl der Versuchsfahrten und der hierzu erforderlichen Zeit ergiebt sich aus folgender Tabelle:

Bezeichnung des Instrumentes.	Anzahl der Versuchsfahrten	Gesammt-Dauer. Stunden.
α) Harlachers Instrument mit electrischer Leitung.	20	10
β) Verfassers Instrument mit Schall-Leitung.	16	5
γ) Kleiner Woltmann'scher Flügel von Ertel & Sohn.	18	8

Wenn man die Zeit auf die Anzahl der Fahrten repartirt, so verhalten sich bei den Fahrten β γ α die Zeiten angenähert wie 1 : 1,5 : 2. Der große Unterschied zwischen β) und α) erklärt sich lediglich dadurch, daß bei dem Instrument β), welches die Flügelachse von selbst in die Bewegungsrichtung stellt, außer den Hin- auch die Rückfahrten für die Beobachtung benutzt werden konnten, was bei dem anderen Instrumente mit Umständlichkeiten der Einstellung verknüpft gewesen wäre.

In der Tabelle Nr. 1. sind die speciellen Werthe zur Ermittlung der Coefficienten des vom Verfasser benutzten Harlacher'schen Instrumentes angegeben.

Man ersieht hieraus, daß unter den sechs Geschwindigkeits-Gruppen vier mit der aufgestellten Formel übereinstimmen.

Tabelle Nr. 1.

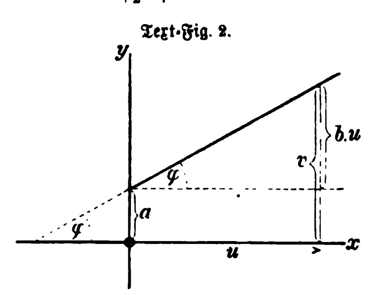
zur Ermittelung der Coefficienten des Harlacher'schen Hydrometers mit electrischer Leitung.

u = Umdrehungen; v = zugehörende Geschwindigkeit.

Nr. der Fahrt.	Fahrzeit auf 70 m Weglänge. Sec.	Anzahl der u pro Fahrt	Anzahl der u pro Sec.	Mittel der u. pro Sec.	Resultirendes v pro Sec. einzeln. m	Resultirendes v pro Sec. Mittel. m	Abweichungen der v-Mittel von der Formel: v = a + b . u = 0,03 + 0,402 . u.
1.	357	148	0,414	0,425	0,196	0,202	—
2.	345	149	0,432		0,203		
3.	348,2	146	0,419		0,210		
4.	349,6	153	0,437		0,200		
5.	177	165	0,932	0,930	0,397	0,400	um 4 mm zu klein.
6.	176	163	0,930		0,400		
7.	173	159	0,919		0,404		
8.	174	163	0,937		0,402		
9.	176	164	0,932		0,398		
10.	91,6	170	1,855	1,872	0,764	0,788	—
11.	90,4	165	1,825		0,774		
12.	87,4	166	1,899		0,801		
13.	88	168	1,908		0,805		
14.	73	171	2,342	2,366	0,958	0,986	um 5 mm zu groß.
15.	71	167	2,352		0,985		
16.	69,8	167	2,393		1,002		
17.	49,4	170	3,441	3,444	1,417	1,414	—
18.	49,6	171	3,447		1,411		
19. } 20. }	42,8	171	3,995	3,995	1,636	1,636	—

Die bei der zweiten Gruppe mit „4mm zu klein" auftretende Differenz beträgt nur circa 1 Procent von der berechneten Geschwindigkeit; die bei der vierten Gruppe (5mm zu groß) nur circa $\frac{1}{2}$ Procent.

Text-Fig. 2.



Somit ist es hinreichend, die gefundene Linie als Gerade anzunehmen, deren Durchschnittspunkt in der y-Achse um a vom Coordinatenanfangspunkt entfernt liegt. Die Tangente des Winkels φ, den die Gerade mit der x-Achse bildet, $tg\,\varphi = b$, beträgt $= 0{,}402$; ferner $a = 0{,}03$m, so daß sich als Coefficientengleichung für genanntes Instrument ergiebt:

$$v = 0{,}03 + 0{,}402 \, . \, u$$

Aus dem geringen Werthe für a = 3cm resultirt, daß bei diesem Instrumente die Reibung der Welle und Lager 2c. auf ein Minimum zurückgeführt ist.

Eine Prüfung durch Schwimmer ergiebt nach Tabelle Nr. 4 und 4a die Geschwindigkeit V_o:

mittelst Instrument:	mittelst Schwimmer:
0,574m	0,573m
0,612m	0,615m

Die Untersuchung des Instrumentes mit Schall-Leitung ergab ebenfalls eine Gleichung einer Geraden, deren Werthe mit den Schwimmerresultaten nur in der dritten Decimalen differirten.

Die Coefficienten des kleinen Woltmann'schen Flügels, welchen Verfasser an der Oker verwendete, wurden bei deren wenig veränderlichen Oberflächengeschwindigkeit nur an einer Stelle (bei Curve II, Fig. 67) durch Schwimmer geprüft. Bei der Weglänge von 20m und der

Zeit:	ergeben sich die V_o:
88 Sec.	0,227
89 „	0,224
73 „	0,274
86 „	0,232
87 „	0,230
80 „	0,250
V_o im Mittel	= 0,239m

während die Messung mit dem Instrument bei Curve II. $V_o = 0{,}240$m bestimmt.

Die Prüfung des großen verbesserten Woltmann'schen Flügels endlich (s. Erster Abschnitt, I. 1) ist seiner Zeit durch Grebenau im Germersheimer Pontonhafen ausgeführt worden. Es geschah dies durch Bewegung eines Kahnes, auf dessen einer Spitze ein Gerüst ähnlich wie in Fig. 3 erbaut war, welches aber weit über das Kahnende hinausragte. Der Beobachter resp. das Instrument befand sich sonach circa 2m von dem am bewegten Kahne sich bildenden Wasserschwall entfernt und außerhalb dessen Wirkungskreises. Im Kahne selbst stand ein Mann, welcher jenen an und entlang einer ausgespannten, befestigten Leine (mit der rechten und linken Hand abwechselnd anziehend) fortbewegte. Bei größeren Geschwindigkeiten wurde der Kahn von, auf dem Lande laufenden Leuten direct gezogen.

Die Unsicherheit dieses Verfahrens ließ erwarten, daß die einzelnen Resultate wesentlich von einander abwichen. In Folge dessen machte sich eine große Anzahl der Versuchsfahrten nothwendig, deren innerhalb der Geschwindigkeiten von 0,25—2,5m in mehreren Tagen über 300 ausgeführt wurden.

Die hierdurch gefundene Curve der Beziehung zwischen den Umdrehungen (Abscissen) und den Geschwindigkeiten (Ordinaten) war eine Parabel. Statt der speciellen Entwicklung werden folgende grundzügliche Bemerkungen genügen. Wenn man die Bezeichnungen einführt:

L = Länge des Beobachtungsweges (= 100m),
β = die der größten Geschwindigkeit der Fahrten entsprechende Umdrehungszahl = Ordinate des Scheitels der Parabel,
N = Anzahl Umdrehungen des Flügels in der Zeit T auf dem Wege L,
p' = der umgekehrte Parameter der Parabel,
α = die den größten Geschwindigkeiten der Fahrten entsprechende Zeitdauer (Abstand der y-Achse vom Scheitel der Parabel, bei besonderem Coordinaten-System),

so ergiebt sich die gesuchte Relation zwischen v und n (beim Harlacher'schen Instrument mit u bezeichnet):

$$\frac{v}{n} = \frac{L}{\beta - p'\left(\frac{L}{v} - \alpha\right)^2}$$

oder, wenn man $\beta - p' \cdot \alpha^2 = N_o$ setzt:

$$v = \frac{L}{2 \cdot N_o}\left[n - 2\alpha p' \pm \sqrt{(n - 2\alpha p')^2 + 4 \cdot N_o p'}\right]$$

und mit der Kürzung:

$$\frac{L}{2\,N_o} = A; \quad 2\alpha p' = B; \quad 4 N_o \cdot p' = C$$

$$v = A\left(n - B + \sqrt{(n - B)^2 + C}\right).$$

Eine für verschiedene v und n angefertigte Tabelle (die v von 2 zu 2 Centimeter zunehmend) überhob bei Messungen der umständlichen Mühe der Berechnung jedes einzelnen Werthes. Wie genau die so gewonnenen Resultate mit den Schwimmern und andern gut justirten Instrumenten überstimmen, ist bereits unter II. mitgetheilt und wird noch weiter aus den hydrometrischen Untersuchungen am Rhein, an der Elbe 2c. hervorgehen.

Baumgarten entwickelt in seiner „Notice sur le moulinet de Woltmann etc." (in der früher erwähnten Zeitschrift) durch allgemeine Betrachtung des Wasserstoßes und der Reibung in den Constructionstheilen des Flügels die Formel:

$$v = \alpha \cdot n + \sqrt{\beta + \gamma \cdot n^2}$$

welche im Wesentlichen mit der erwähnten, durch Versuchsfahrten gefundenen Formel übereinstimmt. Für größere Werthe von n, etwa 2, 3 2c. Umdrehungen pro Secunde, kann B vernachlässigt und gesetzt werden:

$$v = A\left(n + \sqrt{n^2 + C}\right),$$

welche Formel nahe identisch mit der Baumgarten'schen ist.

Zweiter Abschnitt.

Hydrologische Untersuchungen.

I.

Hydrometrische Arbeiten:

A) An der Weser (anno 1879).

1. Die Messungsstelle.

An Strömen, deren Correction durch Parallelwerke ausgeführt worden, wie z. B. der Rhein, die Elbe ꝛc., unterliegt die Wahl geeigneter Stromstrecken nicht den Schwierigkeiten wie an der Weser, in deren Bett zahlreiche Buhnen eingebaut sind. Man beginnt jedoch auch an diesem Strome mit Herstellung von Parallelwerken, nicht selten in der Art, daß man die Köpfe der Buhnen durch Längsschüttungen verbindet. Diese befinden sich aber zumeist nur auf einer Seite, während man an der anderen die Buhnen belassen hat. Gleichmäßige Stromquerprofile sind dann selbstverständlich nicht so leicht zu erwarten. Von den wenigen zu Gebote stehenden Strecken, welche sich zu hydrometrischen Untersuchungen eignen*), ist der Strom nahe bei Holzminden zu nennen.

Unterhalb der „Fähre" daselbst ist der angenähert von Süd nach Nord gerichtete Strom schwach gekrümmt, bildet sodann, wie Fig. 31 angiebt, eine geradlinige Strecke von circa 180m Länge und wendet sich hierauf unter einem spitzen Winkel von circa 10 Grad nach links. Diese Strecke ist auf weitere Entfernung buhnenfrei; der geradlinige Theil derselben konnte daher — was die Richtung betrifft — als Untersuchungsstelle gewählt werden. Inmitten der letzteren wurde — bei B der Fig. 31 — nach vorausgegangener Aufnahme der Stromstrecke mit dem Meßtisch, zunächst ein Querprofil ausgepeilt, sowie je 50m oberhalb und unterhalb zwei andere Querprofile. Alle drei Profile zeigen nach Fig. 32, 33, 34 untereinander eine gleichmäßige, nahezu symmetrische Ausbildung, so daß das mittelste Profil B für die Messungen mit dem Instrument beibehalten werden konnte. Die beiden anderen Querprofile, genau parallel und 100m von einander entfernt, dienten als Grenzen der Schwimmerwege.

2. Das Querprofil.

Nach nochmaliger Prüfung des senkrechten Standes der drei Querprofile A, B, C zu der geradlinigen Stromrichtung, wurde das mittelste Profil B wiederum und zwar drei Mal ausgepeilt, indem entlang einer straff über den Strom gespannten, und darnach genau aller 2m getheilten Peil-Leine die Sonden (ebenfalls aller 2m) mittelst Peilstange genommen wurden. Der Anfangs- oder Nullpunkt lag auf dem rechten Ufer.

In der Wasserspiegelbreite von 85m wurde bei jeder Peilung an 42 Punkten die Tiefe gemessen. Alle 3 Peilungen stimmten genau überein bei den Entfernungen:

*) Im vorliegenden Falle erforderte die Wahl zugleich braunschweigisches Gebiet.

0. 16. 18. 24. 40. 46. 50. 54. 60. 62. 64. 66. 68. 72. 74. 78. 80. 82m,

also an 18 ziemlich gleichmäßig vertheilten Punkten.

Differenzen bis zu 5cm ergaben sich an 22 Punkten und nur an 3 Stellen (bei 20, 26 und 56m Entfernung) betrugen die größten Differenzen 10 bis 13cm.

In Rücksicht darauf, daß das Bett der Weser hier aus Kieß von der mittlen Größe eines Hühnereies besteht, war das Resultat der Peilungen ein günstiges zu nennen. Da, wo sich Differenzen einstellten, wurde eine entsprechende Mittellinie zu Grunde gelegt, wie dieselbe mit Berücksichtigung des Pegelstandes — in dem Querprofile Fig. 35. angegeben ist.

Die benutzte Peilstange hatte ihren Schwerpunkt nahe dem untren Ende, die Stromgeschwindigkeit war für Peilungen gering und die Wasseroberfläche glatt wie ein Spiegel, so daß jene mit ausreichender Genauigkeit ausgeführt werden konnten. Sowohl die, nach der zweiten Peilung nochmals geprüfte Eintheilung der straff gebliebenen Leine, als auch der Stand des hart am Querprofil errichteten Hülfspegels zeigte keine Veränderung.

Die Messung der Vertikalcurven konnte erst mehrere Tage nach der Peilung stattfinden. Die Weser zeigte bis dahin ein gleichmäßiges, langsames Fallen des Wasserstandes. Unter Berücksichtigung des später noch zu erwähnenden Wasserstandes am Hülfspegel am Tage der Messung der Vertikalcurven ist das Wasser-Querprofil in B auf zwei Arten bestimmt worden. Einestheils durch Zerlegung der Fläche in 27 Theile (Paralleltrapeze und 2 Dreiecke) und anderntheils: mit Hülfe eines Polarplanimeters.

Nach der ersteren Art ergiebt sich die Gesammtfläche laut Tabelle Nr. 2 zu 200,705□m; mit dem Polarplanimeter dagegen zu: 200,00□m. Da das letztgenannte Mittel größere Genauigkeit darbietet, so ist für die zu Grunde zu legende Querprofilfläche

$$F = 200{,}00\,\square\mathrm{m}$$

festgesetzt worden.

Dieses Querprofil liegt 128m unterhalb des alten Strompegels, der sich (einige hundert Meter unterhalb der Fähre) hart an der Ausflußstelle der untersten Stadtschleuße an der Quaimauerecke befindet.

3. Das Gefälle.

Zur Bestimmung des Wasserspiegelgefälles wurden am rechten, hierzu geeigneteren Ufer 6 Fixpunkte (I—VI Fig. 31), am linken 3 Fixpunkte nivellirt. Von diesen liegen Fixpunkt IV und VIII genau im Querprofile B; die Punkte I und VI 380m auseinander. Das Nivellement wurde mit einem vorzüg-

Tabelle Nr. 2.

Nr. der Fläche.	Flächen-inhalt. □m	Zugehörendes V_m m	Wasser-menge. Kbm	Bemerkungen.
1.	0,688	0,053	0,03646	
2.	1,552	0,162	0,25142	
3.	2,660	0,260	0,69160	
4.	8,400	0,357	2,99880	Verticalkurve I.
5.	11,120	0,432	4,80384	
6.	11,520	0,464	5,34528	Verticalkurve II. (0,473)
7.	12,560	0,474	5,95344	
8.	12,880	0,484	6,24092	
9.	12,720	0,484	6,15648	
10.	12,860	0,484	6,22424	Verticalkurve III.
11.	12,800	0,484	6,19520	
12.	12,360			
13.	11,872	0,484	17,11037	
14.	11,120			Verticalkurve IV. (0,481)
15.	10,184	0,474	4,82722	
16.	9,520	0,447	4,25544	
17.	8,720	0,410	3,57520	
18.	4,020	0,385	1,54770	Verticalkurve V. (0,396)
19.	3,940	0,368	1,44992	
20.	7,320	0,348	2,54736	
21.	6,528	0,324	2,11507	
22.	3,320	0,305	1,01260	Verticalkurve VI. (0,298)
23.	3,380	0,285	0,96330	
24.	3,256	0,235	0,76516	
25.	2,920	0,160	0,46720	
26.	2,240	0,072	0,16128	
27.	0,245	0,020	0,00490	
	200,705		85,69040	Sa.

lichen Instrument 3 Mal ausgeführt. Zwei Nivellements stimmten scharf überein; das dritte hatte eine Differenz von nur 3mm.

Von diesen Fixpunkten aus wurde mittelst eines genauen Maaßstabes (an jedem Punkte dreimal) bis auf den Wasserspiegel gemessen. Da die Ordinaten des letzteren mit alleiniger Ausnahme von Punkt I bis zur ersten Decimalen (incl.) denselben Werth (18,8) haben, so wurden die verbleibenden Centimeter und Millimeter in natürlicher Größe, Fig. 36, aufgetragen. Von Punkt II bis I ist eine stärkere Senkung — der Beginn einer Stromschnelle — bemerkbar. Für das mittelste Profil aber ist das weiter oben gelegene Gefälle maaßgebend. Aus der Figur des Wasserspiegels am rechten Ufer ergiebt sich eine S-Form, deren ausgebehntester Bogen zwischen den Fixpunkten II und V liegt, so daß das Profil B sich in der Bogenmitte befindet. Das wahre, für das Hauptquerprofil B geltende Gefälle wird durch die Neigung einer am Wasserspiegelpunkt 4 gezogenen Tangente M bestimmt und ergiebt sich hiernach das relative Gefälle: 0,0000322. Die durch die Punkte 7. 8. 9. gezogene Gefällslinie N des Wasserspiegels am linken Ufer läßt sich — wie Fig. 36 zeigt — ohne Weiteres als eine zu M Parallele annehmen, da die geringen Differenzen von — 1mm (bei 7) und + 0,5mm (bei 8) jedenfalls als unvermeidliche Messungsfehler zu betrachten sind. Das relative Gefälle ergiebt sich sonach zu:

$$J = 0{,}0000322$$

für die zu untersuchende Messungsstelle.

4. Die Geschwindigkeitsmessungen.

Die Wahl der Anzahl zu messender Vertikalcurven, mit deren Ermittlung am 12. August begonnen wurde, ist abhängig von der Form des Querprofiles, resp. der Sohle. Bei der gleichmäßigen Linie, welche die letztere bildet, sowie bei der geringen Wasserbreite von rund 84m, würden diesenfalls 4 oder 5 Vertikalcurven ausreichend gewesen sein, soweit es sich um Bestimmung der Wassermenge handelt. Mit Rücksicht aber auf anderweite, später zu erwähnende Untersuchungen sind im Ganzen 6 Vertikalcurven gewählt worden. Die Messung derselben geschah mittelst des im ersten Abschnitt beschriebenen Harlacher'schen Hydrometers, dessen Coefficientenentwicklung ebendaselbst (unter III) speciell wiedergegeben worden ist. Zwei, durch ein Podium verbundene Kähne wurden nach vier Richtungen fest verankert und die das Instrument führende Stange in der völlig staufreien Mitte an der oberen Podiumkante fest in den Flußgrund eingesenkt. Durch beständige Beobachtung eines an dieser Stange befestigten Visires wurde der genaue Stand der Stange im Querprofil, sowie der hierzu senkrechte Stand der Flügelwelle während der Messungen gewahrt, die Stange selbst durch einen Mann dem entsprechend gehalten. Der Umstand, daß die Flügelachse des Harlacher'schen Instrumentes fest steht und einer veränderten Strömungsrichtung nicht folgen kann, war hier einflußlos, da sich aus der Wegrichtung von 7 beobachteten Schwimmern ergab, daß diese Richtung an allen Theilen des Wasserspiegels senkrecht zum Querprofil war.

Die an einem Punkte durchschnittlich 3 bis 4 mal beobachteten Umdrehungszahlen wichen sehr wenig von einander ab, stimmten in mehreren Fällen sogar dreimal genau überein. Mit Rücksicht auf diese sich hierdurch bezeugende Gleichmäßigkeit des Wasserabflusses wurde die Dauer der einzelnen Beobachtung auf 1 Minute festgesetzt, was um so besser war, als das Halten der Stange auf 2 Minuten Dauer in der zweiten Minute hin und wieder einer Correction bedurft hätte, welche doch vermieden werden mußte.

Die so erhaltenen 6 vertikalen Geschwindigkeitscurven sind aus den Figuren 37 bis 42 zu ersehen, die einzelnen Werthe zu ihrer Entstehung in der Tabelle Nr. 3 angegeben.

Ueber die Form der Curven, über die Verhältnisse der verschiedenen Geschwindigkeiten untereinander sowie zu den Tiefen u. s. w. wird Verfasser im vierten Abschnitte Mittheilungen machen. Betreffs der Vertikalcurven ist nur noch zu erwähnen, daß der Wasserstand während der Messung der Curven I bis V ein nahezu beharrender war, so daß bei der sehr geringen Wasserstandsveränderung das Mittel aus den kleinen Differenzen mit ausreichender Genauigkeit zu Grunde gelegt wurde. Die Messung der Curve VI dagegen konnte leider erst nach zweitägiger Unterbrechung der Untersuchungen ausgeführt werden; mittlerweile war der Wasserspiegel der Weser um nahezu 20cm (19,6cm) gesunken und die Curve VI genau genommen nicht mehr in den Rahmen der übrigen 5 Curven passend. Dennoch ist diese Curve zum Zwecke der Wassermengenbestimmung den übrigen mit angereihet worden in der Art, daß das fehlende Stück Curve (von circa 20cm Höhe) nach Maaßgabe eines, mit den durch die Messung gefundenen Punkten gut übereinstimmenden (parabolisch gebogenen) Curvenlineales ergänzt und die Curve so mit dem Wasserstand der übrigen 6 Vertikalcurven in Einklang gebracht wurde. In wie weit dieses Verfahren den Grad der Genauigkeit zur Bestimmung der Wassermenge zu alteriren vermag, läßt sich aus folgendem Vergleiche mit exakten anderen Messungen ersehen.

In dem Werke: „Beiträge zur Hydrographie Böhmens", von Prof. Harlacher, sind in der zweiten Lieferung auf Taf. III unter Fig. 11 drei Geschwindigkeitscurven in einer und der-

Tabelle Nr. 3.

Tiefen t	Mittel der Umdrehungen pro Min.	Mittel der Umdrehungen pro Sec.	Zugehörende Geschwindigkeit pro Sec.	Fläche f der Vertikalebene.	Ganze Tiefe T	$V_m = \frac{f}{T}$	Ort der V_m vom Wasserspiegel aus gemessen.
m			m	□m	m	m	m
			Curve I.				
0,105	67,750	1,129	0,484				
0,305	64,000	1,066	0,459				
0,605	60,714	1,012	0,437				
0,905	56,000	0,933	0,405	0,7495	2,100	0,357	0,58 T
1,245	48,600	0,810	0,356				
1,595	39,166	0,653	0,292				
1,925	23,333	0,388	0,186				
			Curve II.				
0,105	81,25	1,354	0,574				
0,625	75	1,300	0,553				
1,125	76	1,266	0,539	1,428	3,02	0,473	0,58 T
1,765	66,25	1,104	0,474				
2,325	58,25	0,971	0,420				
2,725	46	0,766	0,337				
			Curve III.				
0,100	86,86	1,447	0,612				
0,310	86	1,433	0,606				
0,710	81,5	1,358	0,576				
1,410	77	1,280	0,545	1,5556	3,215	0,484	0,59 T
1,960	65	1,083	0,465				
2,510	57	0,950	0,412				
2,97	43,8	0,730	0,323				
			Curve IV.				
0,100	85,18	1,403	0,594				
0,320	82,5	1,375	0,583				
0,720	79,75	1,330	0,565				
1,220	73,75	1,229	0,524	1,259	2,615	0,481	0,60 T
1,620	67	1,117	0,479				
2,020	57,5	0,960	0,416				
2,360	42,33	0,705	0,313				
			Curve V.				
0,10	63,87	1,064	0,458				
0,33	62,66	1,044	0,450				
0,73	59,33	0,989	0,428	0,770	1,975	0,396	0,59 T
1,24	52,66	0,878	0,383				
1,48	48,33	0,805	0,354				
1,73	36	0,600	0,271				
			Curve VI.				
0,10	49,40	0,823	0,361				
0,34	48,33	0,806	0,354				
0,70	46,00	0,766	0,338	0,5038	1,690	0,298	0,58 T
1,08	39,00	0,650	0,291				
1,39	27,66	0,461	0,215				

selben Vertikalen bei verschiedenen Wasserständen angegeben, von denen der mittlere (laut Seite 34 der 2. Lieferung) um 57 cm höher als der niedrigste liegt. Erhöht man den letzteren um das hier in Frage kommende Maaß von 20 cm und zeichnet dem entsprechend eine zwischenliegende Curve ein, so ergiebt sich, daß die mittlere Geschwindigkeit der niedrigsten Curve um circa 5 Procent kleiner ist als die mittlere Geschwindigkeit der Curve mit dem 20 cm höher liegenden Wasserspiegel. Der Wirkungskreis der Vertikalcurve VI liegt laut Tabelle Nr. 2 zwischen den Flächennummern 21 und 27. Sobald man daher die innerhalb dieses Raumes liegenden einzelnen Wasserquanten von zusammen 6,49 Kbm dementsprechend um 5 Procent verringert, ergiebt sich eine Differenz von nur 0,324 Kbm oder circa $\frac{1}{3}$ Procent der Gesammtwassermenge, ein Quantum, welches für die vorliegenden Untersuchungen recht wohl außer Acht gelassen werden kann und den Vergleich mit den Resultaten von Formeln nicht alterirt.

5. Die Wassermenge.

Die Bestimmung der Wassermenge ist auf dreierlei Art ausgeführt worden. Zunächst wurden die mittleren Geschwindigkeiten V_m der Vertikalcurven auf dem Wasserspiegel als Ordinaten aufgetragen und die Endpunkte derselben nach Fig. 35 durch eine Curve entsprechend verbunden. Aus der so entstandenen V_m-Curve wurden die zwischen den Vertikalcurven liegenden Werthe entnommen, das Querprofil in 27 Theile getheilt und jeder dieser Flächentheile (26 Paralleltrapeze und 1 Dreieck) mit demjenigen V_m multiplizirt, dessen Ordinate in der Verlängerung durch den Schwerpunkt der kleinen Flächen geht. Die so erhaltenen einzelnen Wasserquanten ergeben laut Tabelle Nr. 2 in Summa: 85,69 Kbm pro Secunde.

Die zweite Art der Wassermengenbestimmung besteht in dem Culmann'schen Verfahren zur Kubatur unregelmäßig begrenzter Körper, wie sich ein solcher im vorliegenden Falle aus dem Raume ergiebt, welchen die vertikale Querprofilfläche, die horizontale Wasserspiegelfläche (begrenzt durch die V_o) und die durch die Curven der (dem Stromstrich parallelen) 6 Vertikalebenen gelegte Fläche umschließt. Sobald durch diesen Körper in gleichen Abständen, entsprechend gleichen Geschwindigkeiten, vertikale (dem Querprofile parallele) Schnitte gelegt werden, indem man diese Abstände in die Flächen der Vertikalcurven und die mit der Curve gebildeten Schnittpunkte in das Querprofil einträgt, so entstehen die in Fig. 35 angegebenen Isotacheen oder Curven gleicher Geschwindigkeiten, deren Flächen $F_1 F_2 \ldots\ldots F_n$ um ein constantes Stück l von einander abstehen und in ihrer Summirung den gesammten Kubikinhalt ergeben:

$$Q_1 = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot l + \frac{F_2 + F_3}{2} \cdot l + \ldots\ldots \frac{F_{n-1} + F_n}{2} \cdot l$$

oder:

$$Q_1 = l \cdot \left\{ \Sigma F - \frac{F_1 + F_n}{2} \right\}$$

Es ist sonach die Summe aller Flächen um das arithmetische Mittel aus der ersten und letzten Fläche zu vermindern und der Rest mit dem Abstande l zu multipliciren. Für l = 0,10 m ergeben sich die Flächen mit Hülfe des Polarplanimeters zu:

$$\begin{aligned} F_1 &= 200{,}00\,\square\text{m} \\ F_2 &= 194{,}36 \;\text{„} \\ F_3 &= 184{,}78 \;\text{„} \\ F_4 &= 167{,}07 \;\text{„} \\ F_5 &= 129{,}10 \;\text{„} \\ F_6 &= 71{,}09 \;\text{„} \\ F_7 &= 5{,}50 \;\text{„} \\ \hline \Sigma F &= 951{,}90\,\square\text{m} \end{aligned}$$

und somit

$$Q_1 = 0{,}1 \cdot \{951{,}9 - 102{,}7\} = 84{,}92.$$

Hierzu kommt noch eine, aus Fig. 35 zu ersehende Kuppe mit der mittlen. Höhe von $\frac{0{,}1}{3} = 0{,}033$ und dem Inhalte:

$q = 0{,}033 \cdot F_7 = 0{,}18$ Kbm, so daß die Gesammtmenge resultirt:

$$Q_1 + q = 84{,}92 + 0{,}18 = 85{,}1 \text{ Kbm}$$

Gegen die erste Methode liefert diese zweite einen um circa 0,6 Kbm geringeren Werth. Sie ist aber genauer als jene und soll daher abgerundet die Wassermenge zu

$$Q = 85 \text{ Kbm}$$

festgesetzt werden.

Bemerkung. Nach der Ausarbeitung der Untersuchungen gelangte Verfasser zur Kenntniß der zur Bestimmung der Wassermenge dienenden Methode des Herrn Prof. Harlacher, welche noch genauer und einfacher ist, als die Ermittlung durch Isotacheen. Die Methode gründet sich darauf, daß die Durchdringung zweier cylindrischer Körper, von denen der eine das senkrechte Flußquerprofil, der andere die horizontale, von der Wasserspiegelbreite und der V_m-Curve gebildete Fläche zum Querschnitt hat, einen Körper bildet, welcher dem Volumen der pro Zeiteinheit durchfließenden Wassermenge entspricht. Das Volumen dieses unregelmäßigen Wasserkörpers wird behufs einfacherer Berechnung in ein Cylinderstück von der constanten Länge e, welche man gleich der Einheit oder einer abgerundeten Zahl Einheiten setzt, verwandelt und hierdurch die Querschnittsfläche F′ dieses gleichwerthigen Cylinderstückes gefunden. Bei einer Tiefe y des Flußquerprofiles und der Breite dx beträgt die durch diesen Streifen fließende Wassermenge:

$$dQ = V_m \cdot y \cdot dx.$$

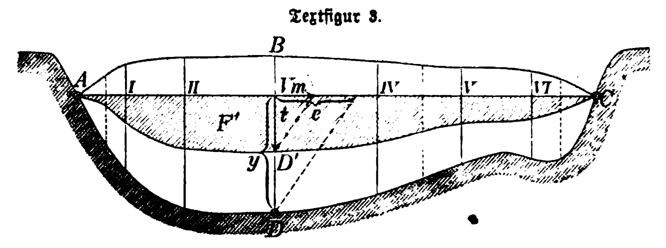
Wird die rechte Seite der Gleichung mit $\frac{e}{e}$ multiplicirt und bezeichnet man mit $t = y \cdot \frac{V_m}{e}$ die Ordinaten der Curve, welche als Leitlinie für das Cylinderstück mit der Länge e und dem Querschnitte F′ anzusehen ist, so wird

$$dQ = e \cdot t \cdot dx$$

$$Q = e \cdot \int t \cdot dx = e \cdot F'.$$

Zur Bestimmung der Fläche F′, bez. der Ordinaten t sind die Flußtiefen y aus dem Querprofile, die V_m aus der V_m-Curve bekannt. Letztere ist in der Textfigur 3 für die

Textfigur 3.



Weser mit ABC bezeichnet, das Flußquerprofil mit ADC. Berechnet man für verschiedene Punkte I bis VI, welche zu größerer Genauigkeit durch Zwischenpunkte vermehrt wurden, aus der vorerwähnten Gleichung die t, d. h. $e = 1$ m gesetzt: $t = y \cdot V_m$, so ergiebt sich hieraus die Fläche ACD′A = F′, welche sich mittelst Polarplanimeter (aus Fig. 35) zu 85,4 □m bestimmt, so daß also eine Wassermenge $Q = e \cdot F' = 1 \cdot 85{,}4 = 85{,}4$ Kbm resultirt, welche das arithmetische Mittel der, nach den beiden anderen Methoden berechneten (85,69 und 85,1) bildet.*)

*) Näheres über die Harlacher'sche Methode siehe „Wochenschrift des österr. Ing. und Arch.-Vereins vom 12. Jan. 1878"; sowie: „Die Messungen in der Elbe und Donau" 2c. von Harlacher. Leipzig 1881.

6. Die mittlere Geschwindigkeit v im ganzen Querprofil.

Aus den angegebenen Werthen für den Inhalt des Wasserquerprofiles, sowie der Wassermenge ergiebt sich die mittlere Geschwindigkeit des ganzen Querprofiles zu:

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{85}{200} = 0{,}425 \text{ m}.$$

7. Der Wasserstand.

Die Vertikalcurven (1 bis 5) wurden am 12. und 13. August 1879 gemessen. Das Mittel der wenig variirenden Pegelstände beider Tage beträgt 1,01 m über Null des Holzmindener Hafenpegels. Da der mittlere Wasserstand der Periode 1862—1877 (nach der folgenden Abhandlung unter II) 1,132 m beträgt, so ersehen wir, daß das Quantum von 85 Kbm sich der bei mittlerem Stande durchfließenden Menge sehr nähert. Berechnet man letztere nach Ganguillet und Kutter — wobei für Pegelstand 1,132 m die Querschnittsfläche F = 210,16 □m; p = 86,24; R = 2,437 und der Coefficient k (in der allgemeinen Formel $Q = F \cdot k\sqrt{R \cdot J}$) = 48 wird — und berücksichtigt man, daß jene Formel für die Wesermessungen von 1879 einen um 2,35 Procent zu kleinen Werth angiebt, (wie später gezeigt werden wird), so würde sich das Wasserquantum der Weser bei mittlem Wasserstande (nicht zu verwechseln mit Mittel-Wasser) der zweiten Periode zu rund 91,5 Kbm pro Secunde ergeben.

Die Pegelstände vor und bei der Messung können ausreichend genau als Beharrungszustand angesehen werden; nach der Messung aber (somit auch bei Bestimmung der früher besprochenen Curve 6) nahm der Wasserstand bis 17. August wenngleich allmälig aber doch beharrlich ab.

8. Windrichtung.

Während der Messung der ersten fünf Vertikalcurven war die Windrichtung Nord-West, angenähert unter 45 Grad der Stromrichtung entgegen. Auf dem Strome selbst aber herrschte ein localisirter Luftzug in Richtung der Strömung. Verfasser hat während des übrigens unbedeutenden Luftzuges sowie bei völliger Windstille an einer und derselben Stelle und zwar 0,1 m unter Wasser die Geschwindigkeit gemessen, um zu ersehen, ob und in wie weit sich eine Differenz herausstellte. Die Versuche gaben jedoch in beiden Fällen dieselben Resultate, so daß sich ein Einfluß auf die Messung nicht bemerklich machte.

Ueber die angestellten

9. Schwimmerbeobachtungen

ist bereits im ersten Abschnitt unter II Erwähnung geschehen. Sie hatten hier nur den Zweck, zu prüfen, ob das Instrument sich in den Coefficienten verändert habe. Von den an 3 Profilpunkten vorgenommenen Schwimmerbeobachtungen stimmen die Schwimmer-Geschwindigkeiten von 2 Punkten mit den durch das Instrument ermittelten genau überein. Die Beobachtungen am dritten Punkte sind unbrauchbar, weil der hierbei sich erhebende Wind zu stark war und blieb. Für genannten Zweck genügen aber die ersterwähnten vollkommen. Näheres ist aus Tabelle Nr. 4 zu ersehen. Das Beobachtungsverfahren ist dasselbe wie das unter „B) Die Elbe" ausführlich beschriebene.

Ausgedehntere Schwimmerbeobachtungen an der Weser hat Verfasser anno 1878 vorgenommen, deren Resultate im vierten Abschnitt bei Besprechung des Verhältnisses $\frac{V_m}{V_o}$ erwähnt werden sollen.

Tabelle No. 4.

No. der Curve.	No. des Schwimmers.	Zeit Min.	Zeit Sec.	Weglänge m	Abweichungen d. Schwimmer vom Profilpunkte nach links m	rechts m	V_0 der Schwimmer pro Sec. einzeln m	Mittel m	Gesammt-Mittel. m	Bemerkungen.	V_0 des Instruments. m
II.	1	2	61,5	100,2	1,5	—	0,552	$\frac{\text{No. } 1+3+4}{3} = 0{,}569$	0,573	fast windstill.	0,574
	2	2	51,25	100	—	—	0,584				
	3	2	55	100,2	2	—	0,571	$\frac{\text{No. } 5+6}{2} = 0{,}566$			
	4	2	51	100	1,5	—	0,584				
	5	3	2	100,2	—	2	0,550	No. 2 = 0,584			
	6	2	52,2	100,1	—	1	0,581				
III.	1	2	45	100,5	—	2	0,609	$\frac{\text{No. } 1+2}{2} = 0{,}621$	0,615	fast windstill.	0,612
	2	2	38,5	100,25	—	2	0,632				
	3	2	45	100	2,5	—	0,606	$\frac{\text{No. } 3+4}{2} = 0{,}610$			
	4	2	42,6	100	2,75	—	0,615				
V.	1	3	19	100	—	2	0,502	0,506	0,506	Wind stromab (nicht brauchbar).	0,458
	2	3	18	100	—	—	0,505				
	3	3	15	100	1,5	—	0,512				

B) An der Elbe (anno 1871).

1. Die Messungsstelle.

Unterhalb der Haltestelle Schöna (gegenüber Herrnskretschen) der sächsischen Staatseisenbahn „Dresden-Bodenbach" ist der Strom an beiden Ufern durch Parallelwerke begrenzt, innerhalb deren sich eine ziemlich gleichmäßige Ausbildung des Strombettes vollzogen hat. Um sich dessen zu vergewissern, wurden in dieser Strecke die im Situationsplane Fig. 43 und in den Figuren 44, 45, 46 angegebenen, um je 136m von einander entfernten Querprofile A, B, C durch Peilung ermittelt, von denen das Querprofil B zur Messung der Geschwindigkeiten bestimmt wurde. Dasselbe liegt circa 590m unterhalb der Kamnitzbach-Mündung oder circa 440m unterhalb des Billetverkaufgebäudes genannter Haltestelle.

Die Geschwindigkeitsmessungen im Profil B begannen gegen Ende des October 1871. Dieselben dürften insofern noch an Interesse gewinnen, als — ohne daß Verfasser Kenntniß hiervon gehabt — in demselben Jahre bei nahezu demselben Wasserstande, sowie nur 60 und etliche Meter von B entfernt der Strom von Herrn Prof. Harlacher ebenfalls hydrometrisch untersucht worden war, was dem Verfasser erst nach Erscheinen der von Herrn Harlacher herausgegebenen „Beiträge zur Hydrographie Böhmens" 1873 bekannt wurde. Des Verfassers Untersuchungen, welche von Herrn Wasserbauinspector, Baurath Hofmann (in Pirna) in dankenswerther Weise unterstützt wurden, waren vor dem Erscheinen jenes Werkes bereits ausgearbeitet worden und ergaben — vorläufig bemerkt — eine Wassermenge von 88,32 Kbm. Aus den späteren Darlegungen wird die genaue Uebereinstimmung mit den Harlacher'schen Resultaten ersichtlich werden.

Nach Aufnahme der betreffenden Stromstrecke mit dem Meßtisch (Maaßstab 1 : 1000) wurden auf eine Stromlänge von circa 400m an beiden Ufern Fixpunkte zur Einmessung des Wasserspiegels, desgleichen das Terrain nivellirt und ein Hülfspegel errichtet, dessen Wasserstände täglich 2 bis 3 Mal beobachtet wurden. Ober- und unterhalb des Profiles B ist der Strom mit einem Pfeilverhältniß von circa 1 : 35 gekrümmt; bei der sonstigen Qualification der Strecke konnte dies kein Hinderniß zur Vornahme der Untersuchungen sein, obgleich eine geradlinige Strecke erwünschter gewesen wäre.

2. Das Querprofil.

Das für die Messungen bestimmte Querprofil B wurde in derselben Weise wie bei der Weser beschrieben, ermittelt und controlirt, nur daß an der Elbe aller 2,5m Sonden genommen wurden. Die Benutzung des ausgespannten und hiernach genau getheilten Seiles unterlag keiner Störung, da bei dem außergewöhnlich niedrigen Wasserstande verhältnißmäßig wenig Schiffe die Elbe passirten. Mit Berücksichtigung des Wasserstandes zur Zeit der Geschwindigkeitsmessungen ergiebt sich der Flächeninhalt des Querprofiles B Fig. 47 zunächst durch Zerlegung in 28 Theile zu 143,95□m. Der Polarplanimeter dagegen:

$$F = 144{,}8\,\square\text{m},$$

welcher Werth den folgenden Untersuchungen zu Grunde gelegt ist.

3. Das Gefälle.

Zur Ermittlung des Wasserspiegelgefälles wurden rechtsseitig 9 und links 8 Pfähle eingeschlagen, diese mit platten Nagelköpfen versehen und deren Höhenlage durch genaues Nivellement nebst Controle festgestellt. In der Nähe des Hauptprofiles B standen Zwischen-Pfähle um je circa 22m auseinander, um die Form des Längenprofiles möglichst genau darstellen zu können. Das Einmessen des ruhigen Wasserspiegels von den Nagelköpfen aus geschah durch wiederholtes Ablesen an einem bis zu halben Millimetern getheilten Maaßstäbchen, dessen unteres Ende mit Oel bestrichen war, um die Adhäsion zu verringern. Diese kleine Vorsichts-Maaßregel hat sich gut bewährt und bewirkt schärfere Resultate. Zu dieser Zeit war der Wasserspiegel 2cm höher als am Tage der Verticalcurvenmessungen, was jedoch auf die Gefällsbestimmungen einen beachtenswerthen Einfluß nicht ausgeübt haben wird.

Nach Auftragung des in Fig. 48 angegebenen Längenprofiles stellte sich heraus, daß der Wasserspiegel am Profile B nicht die Form einer Geraden besaß, sondern die eines flach ausgedehnten, umgekehrt liegenden S.*) Oberhalb desselben

*) Eine dem ähnliche Form zeigt auch der von Herrn Harlacher fixirte Wasserspiegel („Beiträge zur Hydrographie Böhmens", Tafel III); nur liegt bei des Genannten Messung das Querprofil circa 65m B unterhalb und zwar in größerer Strömung.

war das Gefälle sehr schwach (relativ: 0,00009). Das Querprofil B liegt aber bereits über dem ersten Drittheil des ersten Wellenbogens und das für B geltende Gefälle giebt somit auch hier die Neigung einer, zum Bogenradius senkrechten Tangente an, parallel der zugehörenden Sehne. Hiernach wird das relative Gefälle für B:

$$J = 0,00020.$$

Dieselben Gefällsverhältnisse ergeben sich auch am linken Ufer, nur daß hier der Wasserspiegel um 1,4cm tiefer liegt, als am rechten Ufer.

4. Die Geschwindigkeitsmessungen.

Dieselben begannen am 30. October und wurden in den Vormittagsstunden des 31. October beendet. Während dieser Zeit war beharrlicher Wasserstand und nur in den letzten Stunden trat eine Senkung von 1cm ein. Der hin- und wieder auftretende Wind war mäßig und niemals zu der Zeit vorhanden, in welcher die Achse des bereits beschriebenen Woltmann'schen Flügels (Großes Kaliber, von Ertel & Sohn) am Wasserspiegel stand. In der Breite des letzteren von 110m wurden im Ganzen 7 Vertikalcurven gemessen, welche in den Fig. 49 bis 55 aufgezeichnet und mit ihrem Ort in das Querprofil B, Fig. 47 eingetragen sind.

Die Zeit der Beobachtung an jedem einzelnen Punkte war 2 Minuten; die Anzahl der Umdrehungen wurde an jedem Punkte dreimal abgelesen, da die Zahlen unter sich fast gleich blieben. Nur an zwei Stellen traten Unsicherheiten auf, welche ein viermaliges Beobachten erforderten. Im Ganzen aber war die Strömung eine gleichmäßige, was schon aus der regelmäßigen Gestalt der Vertikalcurven hervorgeht. Zur Controle des Instrumentes dienten Vergleiche mit Schwimmerresultaten, wobei ein Weg von im Mittel 50m zurückzulegen war.

Der Wasserstand bei den Messungen der Vertikalcurven mittelst des Instrumentes war: 1,75m unter Null des Hülfspegels. Derjenige während der Schwimmerbeobachtung: 1,74 unter Null. Die Geschwindigkeiten betrugen hierbei mittelst:

	Schwimmer:	Instrument:
Vertikal Curve II.	0,737	0,743
„ „ III.	0,757	0,758
„ „ IV.	0,750	0,762

Diese Probe genügte, da die durchschnittliche Abweichung nur $^4/_5$ Procent beträgt und ein kleiner Theil derselben dem 11mm tieferen Wasserstand zuzurechnen ist.

Die Geschwindigkeiten an der Oberfläche wurden jedoch außerdem zu besonderen Zwecken nochmals untersucht und zwar am 23. October durch Schwimmer, sowie am 24. October mittelst des Instrumentes.

Der Wasserstand bei dieser Schwimmer-Untersuchung war: 1,664m unter Null; es kann also, da er um 7cm höher ist als am Tage der Messung der Vertikalcurven, diese nicht ohne Weiteres mit jener Untersuchung in Verbindung gebracht werden.

Das Verfahren der Schwimmerbeobachtungen (vom 23. October) war folgendes:

Oberhalb und unterhalb des Querprofiles B wurde je eine Querlinie in Richtung des Radius der dortigen Stromkrümmung so ausgesteckt, daß beide Querlinien (aa, cc in Fig. 56) im Mittel um 100m von einander abstanden. Der Raum zwischen diesen, mit genau senkrecht stehenden Baken bezeichneten Linien war für die Schwimmerwege bestimmt und durch genaue Meßtischaufnahme in $^1/_{1000}$ Verjüngung auf der Blanchette fixirt, wie Fig. 56 angiebt. Ungefähr 40m oberhalb der oberen Linie aa wurde ein Kahn N verankert, von welchem aus ein Mann zunächst Probe-Schwimmer einwarf, wobei genau beobachtet wurde, ob der Schwimmer denjenigen (provisorisch durch eine Stange bezeichneten) Punkt des Profiles B berührte, welcher dem Orte einer Vertikalcurve entsprach. Der Ort des Kahnes N wurde so lange verändert, bis die Probeschwimmer den betr. Profilpunkt passirten; oft genügte das Einwerfen des Schwimmers auf der anderen Kahnseite. Sobald das Einwerfen eines zu beobachtenden Schwimmers signalisirt war, begab sich ein Beobachter mit der Secundenuhr einige Schritte hinter die Bake der Linie aa und visirte nach der entsprechenden Bake am anderen Ufer, den Schwimmer dabei öfters verfolgend. Sowie dieser etwa 10m vor der oberen Linie angekommen war, rief der Beobachter „Achtung". Der am Meßtisch Stehende verfolgte hierauf mit einem Haardiopter*) den Schwimmer, so daß die Visiraxe stets den letzteren deckt. Es geschieht dies am besten dadurch, daß das Diopterlineal um eine im Standpunkte steckende feine Nadel vorsichtig gedreht wird. Sobald der Beobachter an der Bake ein kurzes weit hörbares Signal giebt (am besten vernimmt man in größerer Entfernung den Laut „Hopp!"), hält der Beobachter am Meßtisch das Diopter still und zieht eine, die obere Linie aa schneidende Visur, so daß der Schnittpunkt den Ort angiebt, wo der Schwimmer in die erste Querlinie eingetreten ist, vorausgesetzt, daß im Augenblicke der Signalisirung die Visur den Schwimmer deckte oder hart berührte. Bei demselben Signal, welches dem Meßtisch gilt, beginnt sofort die Beobachtung der Zeit, welche der Schwimmer braucht, bis er die untere Grenzlinie cc durchschneidet. Der Beobachter an der Bake geht hierauf an die untere Linie und wiederholt hier dasselbe Verfahren. Ebenso muß der Beobachter am Meßtische im entscheidenden Augenblicke des Durchganges den Schwimmer auch hier anvisiren. Die Verbindung der Visirschnittpunkte in der oberen und der unteren Querlinie giebt die vom Schwimmer angenommene Richtung und die Weglänge an. Nicht immer gehen die Schwimmer genau durch den Profilpunkt von B; die Abweichungen nach Rechts oder Links müssen dann taxirt und notirt, sowie ganz außergewöhnliche, etwa durch Windstöße hervorgebrachte Abweichungen eliminirt werden. Nothwendig ist eine Notirung hinsichtlich des Windes, welche in den meisten Fällen über die Ursache starker Abweichungen Aufschluß ertheilt.

Alle zu einem Punkte des Querprofiles gehörenden Schwimmer werden sodann zu einer Gruppe vereinigt, von jeder Gruppe die Mittel des Ortes und der Zeit genommen und hieraus die Geschwindigkeiten berechnet.

Die Schwimmer tauchten circa 30cm ein und waren so hergerichtet, wie im ersten Abschnitt unter I. 5. mitgetheilt wurde. Im Ganzen kamen für 7 Profilpunkte 41 Schwimmer (excl. Probe-Schwimmer und verloren gegangene) zur Verwendung.

In Vergleichung hierzu wurde sodann bei demselben Wasserstande an jenen 7 Punkten die Geschwindigkeit am Wasserspiegel mittelst Instrument (Achse 15cm unter dem Spiegel) gemessen. Die Resultate ergeben sich aus folgender Tabelle Nr. 5.

*) Mit dem Haardiopter beobachtet es sich bei mäßigen Entfernungen wie hier (110m) viel leichter wie mit der Kippregel, deren Visiraxe fortwährend anders geneigt werden muß, so daß der Schwimmer leicht aus dem Gesichtsfeld kommt und die Beobachtung verloren geht. Bei größeren Weiten, wie am Rhein, ist allerdings nur die Kippregel anwendbar.

Tabelle Nr. 5.

1.	2.		3.	4.	5.	
Gruppe und Profilpunkt vom linken Ufer entfernt:	Beobachtete Schwimmzeit in Secunden		Mittel der Weglängen.	Geschwindigkeiten pro Sec. aus den Schwimmern. (Weg durch Zeit).	aus den Instrument-beobachtungen.	Bemerkungen zu Colonne 1—4.
m	einzeln.	Mittel.	m	m	m	
I. 17,5	138. 137. 137.	137,33	98,70	0,720	0,728	windstill.
II. 25	134. 134. 130. 128. 131. 130. 130.	131	98,92	0,755	0,763	schwacher Wind stromauf.
III. 42,5	131. 135. 134. 136. 133. 132. 130. 129.	132	99,5	0,754	0,764	desgl.
IV. 60	124. 125. 125. 126. 126.	125,2	100	0,798	0,747	schwacher Wind stromab.
V. 70	165. 143. 145. 142. 129. 139. 152.	145	101,47	0,700	0,716	nahezu windstill.
VI. 77,5	153. 161. 168. 160.	160,5	102,5	0,639	0,656	desgl.
VII. 95	172. 175. 173. 173.	173,25	102,75	0,593	0,574	schwacher Wind stromab.

Bei Betrachtung dieser Tabelle ist einer Eigenthümlichkeit der Localität zu gedenken, welche wenigstens im October 1871 sich bemerkbar machte. Einestheils war der Zugwind im Thale nicht selten ganz entgegengesetzt der Hauptwindrichtung über den begrenzenden Bergen und nur entweder stromab oder stromauf. Anderntheils schlug die Richtung des Luftzuges mitunter so plötzlich in eine entgegengesetzte um, daß in einzelnen Stunden ein beständiger Wechsel zwischen auf und nieder stattfand. Bei einigermaaßen erheblicherem Luftzug konnten Schwimmerbeobachtungen nicht gemacht werden. In engen Thälern (die steilen Bergwände stehen fast direct am Ufer) sind dergleichen locale, von der Hauptwindrichtung unabhängige Luftströmungen sehr häufig und bedingt durch Einmündung von Seiten-Thälern und Schluchten. Zum großen Theil erklären sich hieraus die Abweichungen in der Tabelle, namentlich die von Gruppe IV, wo durch ein plötzliches Kentern der Thalzugluft eine Vergrößerung der Schwimmergeschwindigkeit eintrat. Im Großen und Ganzen aber stimmen die Geschwindigkeiten aus beiden Methoden gut überein. In Fig. 57 sind die Geschwindigkeiten als Ordinaten auf dem Wasserspiegel des Profiles B aufgetragen. Es sei wiederholt, daß hierbei ein anderer Wasserstand als zur Zeit der Messung der Vertikalcurven eingetreten war. Verbindet man die Endpunkte durch eine entsprechende Curve, berechnet ferner die von dieser und dem Wasserspiegel umschlossene Fläche und dividirt diese durch die Wasserspiegelbreite, so erhält man (als Höhe eines Rechteckes) das wahre Mittel der Geschwindigkeiten an der Oberfläche. Bemerkenswerth ist, daß das Mittel aus der Schwimmercurvenfläche ebenso groß ist, wie das der Instrumentgeschwindigkeiten.

Dergleichen Controlen durch Schwimmer haben noch den anderen Werth, daß man daraus die Richtung der Wasserfäden wenigstens in der oberen Schicht des Stromes erkennen kann. Aus Fig. 56 geht hervor, daß der Verlauf des Wassers Winkel zum Querprofile von 80 bis 90 Grad, im Mittel von 84 Grad (statt 90) bildet; es ist daher sehr wichtig, daß man in solchen Fällen Instrumente verwendet, so construirt, daß sich die Flügelachse mit Leichtigkeit von selbst in die Strömungsrichtung einstellt. Dies war hier, bei Verwendung des im ersten Abschnitt beschriebenen, verbesserten Woltmann'schen Flügels, der Fall. Wenn es nicht gewesen wäre, so hätte die Lage des Querprofiles nicht senkrecht zur Strom-Mittellinie, sondern zur mittleren Strömungsrichtung gewählt werden müssen, um den Stoßwinkel als normal zur Querprofilfläche zu erhalten.

Auf die Länge des Querprofiles hat erwähnter Umstand im vorliegenden Falle keinen beachtenswerthen Einfluß. Man sollte meinen, daß die von Herrn Harlacher beobachteten Geschwindigkeiten zu kleine Werthe angeben, weil das von Demselben verwendete Instrument eine nahezu feststehende Flügelachse besitzt. Aus der genauen Uebereinstimmung aber welche zwischen Herrn Harlachers und des Verfassers Messungen herrscht, geht hervor, daß die Schrägrichtung des Wasserstoßes gegen die Flügel des Harlacher'schen Instrumentes keinen nachtheiligen Einfluß ausgeübt hat. Der Grund hierzu liegt jedenfalls in der schraubenflächenförmig gewundenen Gestalt der beiden Flügelschaufeln. Bei ebenen Flügelflächen jedoch würden sicher fehlerhafte Resultate entstanden sein.

5. Die Wassermenge.

Zur Bestimmung derselben wurde in der gleichen Weise verfahren, wie unter „A. An der Weser" beschrieben worden. Die V_m Curve wurde über dem Wasserspiegel aufgetragen, die Querprofilfläche (Längen 1:250; Tiefen 1:400) nach Erfordern der Sohl-Linie in 28 Theile zerlegt und in der Richtung der Schwerlinie jedes Theiles das zugehörende V_m ermittelt. Die Multiplication dieser V_m mit den Theilflächen ergab die Einzelwassermengen und deren Summe: 88,5 Kbm pro Secunde.

Außerdem wurde die Wassermenge — wie früher (an der Weser) angegeben — durch Zerlegung des Wasserparaboloids in Streifen von je 0,1 m Dicke bestimmt. Die da-

durch entstehenden, in Fig. 47 eingezeichneten Flächen der Isotacheen sind hierbei:

$$F_1 = 144{,}8;\quad F_2 = 142{,}5;\quad F_3 = 140;\quad F_4 = 137;$$
$$F_5 = 131;\quad F_6 = 124;\quad F_7 = 90{,}8;\quad F_8 = 45{,}5\,\Box\text{m}.$$

Die verbleibende Kuppe hat eine mittlere Dicke von 0,05 m und den kubischen Inhalt von 45,5 · 0,05 = 2,275 Kbm. Die Summe der F beträgt 955,6; es ergiebt sich somit ein Gesammtquantum von

$$0{,}1 \cdot \left\{955{,}6 - \frac{144{,}8 + 45{,}5}{2}\right\} + 2{,}275$$

oder

$$Q = 88{,}32\,\text{Kbm},$$

in runder Zahl 88 Kbm für den damaligen Niederwasserstand. Die Uebereinstimmung mit den Harlacher'schen Messungen werden wir unter 7. bei Betrachtung der Wasserstände erkennen. Zunächst resultirt

6. Die mittlere Geschwindigkeit

$$v = \frac{Q}{F} = 0{,}609\,\text{m pro Sec.}$$

7. Die Wasserstände.

Am 16. October zeigte der Hülfspegel einen Wasserstand von 1,56 m unter Null. Von da an bis zum 23. October sank das Wasser bis 1,665 unter Null; dagegen blieb es beharrlich auf 1,705 m unter Null vom 24. bis mit 28. October; sank dann bis 30. October auf 1,75 m und behielt diesen Stand bis 31. October gegen Mittag. Nach dieser Zeit blieb der Pegelstand auf drei Tage beharrend auf 1,76 m. Von den Untersuchungen fanden statt: die Messungen der Vertikalcurven am Nachmittag des 30. und Vormittag des 31. October; die Schwimmerbeobachtungen als Vergleichsmessungen mit dem Instrument: am 24. October, und diese letzteren: am 25. October. Man ersieht hieraus, daß während jeder der Messungen eine Veränderung nicht eingetreten war.

Zu einem Vergleiche der Resultate mit den Harlacher'schen geben theils die Nivellements des Verfassers Aufschluß, welche noch über das Harlacher'sche Profil hinausreichen, mehr aber noch die einschlagenden Abschnitte der vorerwähnten Abhandlung („Beiträge 2c."). Zunächst stellt sich heraus, daß der Nullpunkt des Hülfspegels 1,33 m unter dem Nullpunkt des von Herrn Harlacher benutzten Pegels liegt, daß somit der Wasserstand von — 1,75 m einem solchen von — 3,08 m des Harlacher'schen Pegels entspricht.

Herr Harlacher hat nach Seite 45 der „Beiträge z. H. B." bei dem Pegelstande: — 3,06 m gemessen und findet hierfür das Quantum von 90,8 Kbm pro Secunde. Die auf Grundlage weiterer (bei — 2,49 m und bei — 2,05 m ausgeführter) Messungen von ihm construirte Wassermengen-Curve fordert für den Wasserstand — 3,08 m das Quantum von 88,4 Kbm. Die vom Verfasser ermittelte Wassermenge betrug aber: Q = 88,32 Kbm; eine Uebereinstimmung, welche für die Genauigkeit beider Messungen spricht.

C) Am Rhein.

Die hydrometrischen Untersuchungen am Rhein hat Verfasser vorwiegend in Gemeinschaft mit Grebenau angestellt und zwar in den Jahren 1868 und 1871. Sie fanden theils in der Nähe von Lauterburg statt, theils bei Germersheim. Der Zweck von Verfassers Betheiligung bei diesen Messungen lag jedoch weniger in der Behandlung eines ganzen Querprofiles zur Bestimmung der Wassermenge, als vielmehr darin: den verbesserten Woltmann'schen Flügel und die Darcy'sche Doppelröhre (Tube-Darcy) kennen zu lernen, welche Instrumente damals in Deutschland nur bei Grebenau zu finden waren. Ferner beabsichtigte Verfasser, die Bewegungscurven und den Charakter des Stromes (mit seinen Correctionsbauten) zu prüfen und endlich einen Einblick in das, damals noch nicht dem Druck übergebene Elaborat über die Messungen bei Basel (anno 1867) zu erlangen. Die erwähnten Instrumente sind im ersten Abschnitte bereits beschrieben worden. Der vom Verfasser theils allein, theils mit Grebenau ausgeführten Messungen wird in demjenigen Theile gedacht werden, welcher die Verhältnisse der Geschwindigkeiten unter sich u. A. m. behandelt (IV. Abschnitt). Bei den Messungen und der Bestimmung der Wassermenge (resp. des v unter No. 8. der Tabelle Nr. 8.) des in Fig. 58 angegebenen Rheinquerprofiles hat sich Verfasser nur an der Peilung und der Messung mehrerer Vertikalcurven betheiligt; übrigens aber sind die vervollständigenden Factoren der Gefälligkeit Grebenaus zu verdanken, dessen exaktes und selbst in den geringsten Kleinigkeiten genaues und gewissenhaftes Verfahren bei dergleichen Messungen Verfasser hinreichend Gelegenheit fand, kennen und schätzen zu lernen.

Die Endresultate sind in der Tabelle Nr. 8. angegeben. Das Verfahren bei den Geschwindigkeitsmessungen war dasselbe, wie bei den Untersuchungen an der Weser und Elbe beschrieben worden ist. Bei größeren Tiefen wurde die, den Woltmann'schen Flügel führende, in den Flußgrund nicht eingesteckte Eisenstange gegen Oscillationen durch die Gabel-Vorrichtung geschützt, deren Construction und Gebrauch im ersten Abschnitt unter I. 1. angegeben ist. Das Peilen geschah entlang eines ausgespannten Peil-Taues, welches ebenso wie bei den Baseler Messungen an drei Punkten der Wasserbreite von, in festverankerten Nachen befestigten und in Gabeln endigenden Stangen unterstützt wurde. Entlang dieses Taues oder der Meßleine maaßen zwei Mann mit genauer Meßlatte die Punkte ab, an welchen die Sonden genommen werden sollten; dieß geschah an den Ufern nach je 1 m, im Uebrigen nach je 5 m. Wohl wäre hier zur Feststellung des Ortes der Sonden die Verwendung das Theodolith geeigneter gewesen, zum Mindesten müheloser; in Folge der dreimaligen Unterstützung aber, wobei die Gabeln erst untergeschoben wurden, nachdem das Tau über die ganze Breite straff gespannt war, konnte durch nochmaliges Spannen eine hinlänglich genügende Leitlinie erzielt werden.

Der Wasserstand wuchs während der Messung der Vertikalcurven um nahezu 4 cm und entspricht im Mittel + 0,15 des Sondernheimer Pegels. Bei der Messung von Horizontal-Curven bringt ein Fallen oder Steigen von 3—4 cm pro Tag am Rhein im Allgemeinen einen wesentlichen, die mittlere Fehlergrenze der ganzen Messung übersteigenden Fehler nicht hervor. Ein größeres Maaß aber macht sich in der Wasserspiegel-Geschwindigkeits-Curve bemerkbar. Da steigendes Wasser größere, fallendes geringere Geschwindigkeit angiebt, so müssen bei erheblicher Vergrößerung jenes Maaßes vom Vormittag bis Nachmittag (der Messungszeit) die so entstehenden beiden Curvenäste separat als Theile zweier parallelen, dem Wasserstande des Vor- und Nachmittags entsprechenden Curven betrachtet und durch Interpolation construirt, resp. zu zwei parallelen Curven ergänzt werden, wozu nöthigen Falls aus früheren Messungen eine annähernde Skala des Wachsens der Geschwindigkeiten bei Wasserstandsveränderungen von 10 zu 10 cm benutzt werden kann. Das Querprofil Fig. 58 bei Germersheim hat eine auffällige Form; diese wird aber nicht überraschen, wem die Art des Geschiebetransportes im regulirten Rheine bekannt ist. Die großen Massen der Ge-

schiebe, welche durch die lebendige Kraft des Wassers dem Meere zugeführt werden müssen, bilden kein durchgehendes symmetrisches Profil, sondern werden in großen Kiesbänken fortbewegt. Letztere treiben sowohl am linken, als am rechten Ufer in der Art, daß die Verbindungslinie der abwechselnd links- und rechtsseitigen Bänke einen Zickzack (s. Fig. 59) bildet, so daß die diesem entgegengesetzte Form der Linie dem eigentlichen Thalwege (Verbindung der Orte der größten Tiefen und Geschwindigkeiten) entspricht. Eine solche Kiesbank — mit dem kubischen Inhalte bis zu einer Million Kbm — rückt am baierischen Ufer pro Jahr durchschnittlich 278 m vorwärts und ist nach circa $3^2/_3$ Jahren soweit gelangt, daß die Curve des Thalweges eine der früheren entgegengesetzte Lage annimmt. In einem und demselben Querprofile wechseln hiernach die Tiefen, so daß da, wo erst in Folge der Gegenwart einer Bank eine Tiefe von 1 m vorhanden war, nach $3^2/_3$ Jahren an demselben Punkte eine solche von etwa 6 m sich einstellt, während sich eine secundäre Rinne an dem entgegengesetzten Ufer vorfindet. Zwischen einer Kiesbank, welche sich am linken und einer solchen, die sich am rechten Ufer fortbewegt, befindet sich eine schwellenähnliche Erhöhung der Stromsohle, welche den Thalweg unter einem spitzen Winkel kreuzt. Das Längenprofil der Stromsohle im Thalwege entspricht sonach einem beständig sich wiederholenden Wechsel zwischen durchschnittlich 2 m und 7 m Tiefe, bei — 0,23 m Neuburger Pegel. Verfasser hat im Jahre 1871 eine Peilung im Thalwege in der Länge von circa 1 Meile (von Maxau aus abwärts) mit ausgeführt und jene, in Fig. 60 dargestellte Form des Längenprofiles völlig bestätigt gefunden.

Diese charakteristischen Eigenschaften des regulirten Rheinstromes enthalten hinsichtlich des Geschiebetransportes und der Ausbildung seines Querprofiles manche Abnormitäten und Verfasser neigt sich der in neuerer Zeit ausgesprochenen Ansicht zu, daß den zur Correction des Rheines dienenden Parallelwerken eine zu große Strombreite gegeben worden ist. Der Rhein hat vor anderen deutschen Strömen den Vorzug, daß für den Geschiebetransport im Wesentlichen zwei von einander isolirte Transporteure sorgen. Einestheils wirken hierauf die Ende Winters eintretenden Hochfluthen der von Freiburg-Basel an einmündenden Flüsse; anderntheils wird im Sommer nach Beginn der Schnee- und Gletscher-Schmelze dem Strombett wiederum ein so beträchtliches Wasserquantum zugeführt, daß auf diese Weise die zum Fortschieben der mächtigen Kiesmassen nöthige lebendige Kraft des Wassers — wenn auch nicht constant, aber doch in weit günstigerer Art erhalten bleibt, als dies z. B. an der Elbe, Oder ꝛc. der Fall ist. Fiele jene zweite Füllung im Sommer weg, so würde die Anhäufung der Kiesbänke sich noch viel lästiger bemerkbar machen. Wenn man sich nun auch von der Correction des Stromes durch Parallelwerke die Ausbildung von durchgehenden nahe symmetrischen Querprofilen versprochen haben mag, so ist doch trotz des eingetretenen Gegentheils schon der eine Vortheil der Regulirung nicht zu unterschätzen, daß in der Fortbewegung der Sinkstoffe die früheren anarchischen Zustände aufgehört haben und an deren Stelle ein bestimmtes System getreten ist, welches zwar den technischen Wünschen nicht völlig entspricht, aber doch durch seine Existenz die Behandlung des Stromes erleichtert. Uebrigens deuten die angestellten Beobachtungen mit Oberflächenschwimmern, von denen Verfasser im ersten Abschnitt gesprochen, sowie die später zu erwähnende regelmäßige Gestalt der Vertikal-Curven darauf hin, daß sich zu Gunsten der Ufererhaltung eine gleichmäßigere Richtung der Wasserfäden ausgebildet hat, welche die Entstehung von Kolkungen, Wirbeln ꝛc. ausschließt.

D) An der Oker.

Oberhalb der, zur Straße von Leiferde nach Klein-Stöckheim gehörenden Brücke ist der Lauf der Oker auf nahezu 65 m Länge geradlinig und gleichmäßig ausgebildet. Die Messungsstelle befindet sich 40 m oberhalb jener Brücke. Bei der geringen Flußbreite von 14 m konnten für die Geschwindigkeitsmessungen keine Kähne benutzt werden; es wurde deshalb eine Hülfsbrücke mit kräftigen Trägern und ohne Zwischenunterstützung errichtet. Das in Fig. 65 angegebene Querprofil enthält:

$$F = 26{,}36 \,\square\, \text{m}.$$

Das Gefälle wurde (am 28. Juni 1878) durch vier auf die Länge von circa 200 m vertheilte und genau nivellirte Wasserspiegelpfähle ermittelt, ergiebt eine Gerade und beträgt pro Längeneinheit:

$$J = 0{,}0000122.$$

Bei der geringen Breite genügten drei Vertikalcurven, welche nebst ihren mittleren Geschwindigkeiten (V_m) in den Fig. 66, 67 und 68 in kleinerem Maaßstabe dargestellt sind. Sie wurden mit dem, im ersten Abschnitte erwähnten kleinen Woltmann'schen Flügel (ebenfalls von Ertel & Sohn in München) gemessen.

Zur Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit v des ganzen Querprofiles wurde die V_m-Curve aufgetragen, das Profil in 11 Theile zerlegt und jeder derselben mit dem zugehörenden V_m multiplicirt. Die Summirung dieser Produkte ergiebt die Wassermenge von

$$Q = 4{,}69 \,\text{Kbm}$$

pro Secunde und sonach

$$v = \frac{4{,}69}{26{,}36} = 0{,}178 \,\text{m}.$$

E) An einem hölzernen Gerinne.

Zur Vervollständigung und um mehrere Arten der Rauhheit der Wandungen berücksichtigen zu können, nimmt Verfasser Messungen an einem hölzernen Gerinne mit auf, welches zu verschiedentlichen hydrometrischen Zwecken hinter dem Grieswerk einer Ablaßschleuse der Bautzener Papierfabrik eingebaut worden war. Das Gerinne — von je 0,44 m innerer Breite und Höhe — war an drei Punkten an schmiedeiserne starke Bänder gehängt, welche oben in Schrauben ausliefen, so daß von einem mit genau nivellirten Fixpunkten versehenen Gerüste aus das Gefälle des Gerinnes verändert werden konnte. Letzteres mündete in ein stark gezimmertes und gut gedichtetes Aichgefäß aus, mit welchem eine mit Nonius versehene Glasröhre verbunden war, in der sich die Differenzen der Wasserstände des Aichgefäßes darstellten. Das relative Gefälle im Gerinne betrug bei den hier zu erwähnenden Messungen $J = 0{,}00216$. Bei einer Beobachtungszeit von je 30 Secunden, einer constanten Gerinnwasserhöhe von 0,37 m oder dem Querschnitte $F = 0{,}1628 \,\square$m, sowie bei der horizontalen Querschnittsfläche des Aichgefäßes von $12{,}34648 \,\square$m, ergab sich aus drei Messungen:

Wasserhöhen im Aichgefäß: 0,395; 0,396; 0,398 m
Wassermengen pro je 30 Sec. 4,8768; 4,8892; 4,9139 Kbm.

Es resultirt hieraus eine Wassermenge pro Secunde:

$$Q = 0{,}1631 \,\text{Kbm}$$

und eine mittlere Geschwindigkeit:

$$\frac{0{,}1631}{0{,}1628} = 1{,}001 \,\text{m}$$

pro Secunde, oder dafür:

$$v = 1{,}0 \,\text{m}.$$

Die Verwendung dieser Maaße findet im dritten Abschnitte statt.

II.

Veränderte Zustände der Weser, Oker, Spree und Bode.

Aus wohl allen Theilen des deutschen Reiches sind von Hydrotekten Mittheilungen darüber gemacht worden, daß gegen früher an und in den Flußläufen nachtheilige Veränderungen eingetreten sind. Es betrifft dies namentlich die Veränderung der Wasserstände, sowie diejenige der Flußbetten.

Die hierauf bezüglichen hydrologischen Untersuchungen des Verfassers erstrecken sich auf Beides; ingleichen stellen sie Beispiele dar, aus welchen nicht allein die nachtheilige Veränderung des Flußlaufes, sondern auch diejenige des gesammten Thalbodens hervorgeht.

Was zunächst die Wasserstände betrifft, so läßt sich anderen Beispielen von nachtheiligen Veränderungen auch anfügen:

a) Die Veränderung der Weser-Wasserstände.

Durch die Güte des Herrn Kreisbaumeister Müller in Holzminden gelangte Verfasser zur Kenntniß der dortigen Pegelbeobachtungen, welche für die Zeit vom Jahre 1847 bis mit 1877 zusammengestellt worden waren.

Bestimmt man für den höchsten, den mittleren und den niedrigsten Wasserstand das Jahresmittel jedes dieser 31 Jahre und sodann die Gesammtmittel dieser drei Stände aus allen 31 Jahren, so ergiebt sich, daß dieses Gesammtmittel beträgt:

α) für den niedrigsten Wasserstand = 0,390 m
β) „ „ mittleren „ = 1,167 m
γ) „ „ höchsten „ = 3,932 m
über dem Nullpunkt des Holzmindner Pegels.

Eine graphische Darstellung der Wasserstandslinien für jedes dieser Jahre ergiebt, daß in der zweiten Hälfte jenes Zeitraumes von 31 Jahren, also auf die Zeit von 1862 bis 1877 auffallend andere Verhältnisse obwalten, als in der ersten Hälfte oder Periode von 1847—1861. Zieht man hiernach für die drei Wasserstände das Mittel einer jeden Periode gesondert, so erhält man die

Mittel

Wasserstand.	für die Perioden: 1847 bis 1861	1862 bis 1877
höchster	3,870 m	3,990 m
mittlerer	1,196	1,132
niedrigster	0,418	0,342

Man ersieht hieraus, was sich übrigens an den meisten Flüssen zu vollziehen scheint:

1. die niedrigsten und mittleren Wasserstände sind gesunken;
2. die höchsten Wasserstände nehmen zu.

Die Erscheinung unter 1. gereicht der Schifffahrt und Industrie zum Nachtheil; die zweite der Landwirthschaft.

Ob diese Zustände sich in dieser Weise fortsetzen werden, läßt sich auf Grund der Pegelbeobachtungen von 31 Jahren nicht erkennen. Wahrscheinlich aber ist ein innerer Zusammenhang mit der Art der wirthschaftlichen Benutzung des Sammelgebiet-Terrains. Die Umwandlung von Wald zu Feld hat auch im Wesergebiet, namentlich an der Fulda, stattgefunden und auch hier ist die Frage einer näheren Erörterung werth: ob man statt kostspieliger künstlicher Mittel zur Verbesserung der Schifffahrtsfähigkeit, sowie zur Reduction der höchsten Wasserstände nicht eher auf dem natürlichen Wege einer zweckentsprechenden Wiederbewaldung ꝛc. zu einer Verminderung der Nachtheile gelangen könne? Alle die Vorschläge, welche zu Gunsten der Schifffahrt bezüglich der Behandlung der Ströme gemacht werden, wie: Einbau von Nadelwehren, Grundschwellen, Verengung der Strombreite, Schiffsschleußen, Baggerungen ꝛc. erscheinen dem Verfasser in nicht wenigen Fällen nur als Palliativmittel, welche mehr gegen die Krankheits-Zeichen und weit weniger gegen den Sitz der Krankheit gerichtet sind.

Eine andere Frage, welche in neuerer Zeit mehrfach zum Gegenstand fachwissenschaftlicher Discussionen geworden ist, betrifft die Erwägung, ob die jährlichen Wassermengen der Flüsse überhaupt abgenommen resp. in einer Weise abgenommen haben, daß sich dadurch auch die Abnahme der mittleren und niedrigsten Wasserstände erklärt. Eine bestimmte Beantwortung dieser Frage läßt sich erst dann erwarten, sobald für jeden Strom dessen Wassermengen-Curve und hieraus in Verbindung mit der Dauer-Beobachtung das im Laufe jeden Jahres zum Abfluß gelangte Quantum ermittelt wird. Folgerichtig müßte mit einer Abnahme der jährlichen Flußwasserquanten auch eine Abnahme der Regenhöhen in Verbindung stehen. Vergleicht man aber die statistischen Notizen meteorologischer Stationen, so ist eine stetige Abnahme der Regenhöhen durchaus nicht zu erkennen; in einigen Fällen (z. B. Regensburg, wo die Beobachtungen seit dem Jahre 1781 vorliegen) ergiebt sich sogar gegen früher eine Zunahme. Die Annahme des stetigen Zurückgehens der Jahreswassermengen eines Stromes erscheint somit ziemlich haltlos. Vermuthlich wird die Summirung der im Ueberfluß plötzlich und öfterer (als früher) auftretenden Hochfluthmengen mit den, den niederen Wasserständen entsprechenden Quanten im Großen und Ganzen in jedem Jahre auf angenähert dasselbe Maaß hinführen, selbst bei Einrechnung einzelner, z. B. noch unerklärter Unregelmäßigkeiten. Die Behandlung eines Stromes muß zunächst aus der Kenntniß des Charakters und der Beschaffenheit seines ganzen Sammelgebietes hervorgehen und nicht sofort kostspielige Bauprojekte als Heilmittel betrachten, welche unter Umständen sich schließlich als Sisyphusarbeiten erweisen können. Es gehört hierzu auch die Anhäufung der Sinkstoffe, welche uns zugleich zu der Betrachtung der folgenden Flüsse führt.

b) Veränderung der Flußbetten der Oker, Spree und Bode.

Die Oker ist ein kleiner, im Sammelgebiete der Weser liegender Fluß, dessen Quellen sich am Nordabhange des Bruchberges bei Altenau im Harz befinden. Sie berührt die Städte Wolfenbüttel und Braunschweig, vereinigt sich bei dem Dorfe Müden nordwestlich von Gifhorn mit der „Aller" und fließt mit dieser unterhalb Verden in die Weser. Die Gesammtlänge von den Quellen bis nach Müden beträgt nach der allgemeinen Thalrichtung circa 12 deutsche Meilen, bis Wolfenbüttel 6, bis Dorf Leiferde (s. hydrometrische Untersuchungen unter D.) $6^2/_3$, bis Braunschweig $7^2/_3$ und bis Dorf Veltenhof circa $8^1/_3$ Meilen.

In der Gegend des letzterwähnten Dorfes wurde das Okerthal aufwärts bis zur Schleuße bei Oelper (bei Gelegen-

heit der Uebungen der Studirenden der herzoglich technischen Hochschule zur Ausarbeitung einer Flußcorrection) im Jahre 1879 nivellirt und hierzu ein aus dem Jahre 1838 stammender Grundplan (Maaßstab 1:2000) benutzt. Zur Prüfung der Richtigkeit desselben wurden mehrfache Controle-Messungen ausgeführt, welche mit jenem Plane genau übereinstimmten. Vor Allem sind hierin die Situation und die Uferbeschaffenheit des Okerbettes mit großer Sorgfalt eingetragen. Dasselbe bezieht sich auf ein im Jahre 1838 ausgeführtes Nivellement des Thales und Wasserlaufes. In den vorhandenen Fixpunkten (Schützenschwelle der Schleuße u. dergl.) stimmte das neuere Nivellement ebenso genau mit dem älteren überein. Der damalige Wasserstand differirte mit dem zur Zeit der 1879. Messungen um nur 1 cm.

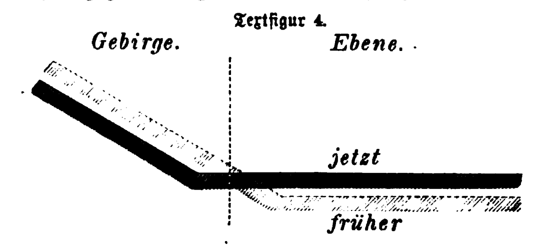
Wesentlich anders gestalten sich die Resultate, welche sich aus der nochmaligen Untersuchung der Breite und der Sohl-Lage des Flusses ergaben. In der Karte von 1838 hat letzterer eine mittlere Breite von 17 m, während dieselbe im Jahre 1879 22 m betrug. Die Länge der untersuchten Thalstrecke (von der Schleuße bei Oelper bis unterhalb Veltenhof) ist 2600 m; die Länge des Flußlaufes dagegen 6300 m, somit circa zwei und einhalbmal größer als die Thalmittellinie. Nach Eintragung der 1879. Breiten stellte sich demnach heraus, daß — unter Weglassung kleinerer Zerstörungen — in dieser kurzen Thalstrecke seit 41 Jahren von beiden Ufern zusammen eine Fläche von 26520 □m (circa $10\frac{1}{2}$ braunschweiger Morgen) weggeschwemmt worden ist; nach körperlichem Inhalt kann dies einem Raume von circa 87000 Kbm entsprechen, welche thalabwärts der „Aller" zugeführt worden sind. Der Vergleich der Längenprofile von früher und jetzt ergiebt, daß die jetzige mittlere Lage der Flußsohle circa 0,75 m höher ist, als im Jahre 1838. Zu bemerken ist noch, daß innerhalb der untersuchten Strecke keine Stauanlage sich befindet.

Die Spree ist in der Gegend von Bautzen hinsichtlich des Querprofiles angenähert so groß wie die Oker bei Oelper; nur hat sie mehr den Charakter eines Gebirgsflusses und größeres Gefälle. Unterhalb Bautzen (bei Nieder-Gurigk) theilt sich der Fluß in zwei Arme, von denen der rechtsseitige die „kleine", der linksseitige die „große Spree" heißt. Beide Arme haben bis zum Dorfe Klix ein und dasselbe Thalgebiet; von da an aber sind diese Gebiete gesondert und vereinigen sich erst nach circa $3\frac{1}{2}$ Meilen Länge zu der von zahlreichen Wasserläufen durchzogenen Niederung des bekannten „Spreewaldes".

Der erwähnte linksseitige Arm, die „große Spree", ist es, an welchem Verfasser die Verbreiterung des Bettes zu constatiren Gelegenheit fand. Im Jahre 1862 wurden von dem Thalgebiete mit allen Details mittelst Meßtischaufnahme genaue Specialpläne hergestellt und Netznivellements ausgeführt. Namentlich wurden auch die Ufersituationen und Maaße mit großer Sorgfalt berücksichtigt. Nach noch nicht ganz 4 Jahren verlangte die Veränderung eines Regulirungsprojektes daselbst die Revision der Flußbreiten und Tiefen und diese ergab, daß auf circa 9000 m Thallänge in Summa 3800 □m Uferfläche in den wenigen Jahren verschwunden resp. weggespült waren. Die Flußsohle erwies sich trotz der alljährlich stattfindenden Räumungen in mehreren nicht gestauten Flußstrecken als erhöht.

Ganz ähnliche Erscheinungen zeigen sich auch an der Bode. Bei allen drei genannten Flüssen ist eine Verbreiterung des Bettes und Erhöhung der Sohle da eingetreten, wo der betreffende Fluß nicht mehr den Charakter eines Gebirgsflusses an sich trägt. Wo er aber noch als solcher zu betrachten ist, zeigen sich umgekehrt wiederum sehr deutliche Spuren, daß im Gebirge eine Sohl-Vertiefung stattgefunden hat. Die oft mehrere Meter über dem Flusse liegenden Felsauswaschungen sind unverkennbar durch die Wellenschläge des dereinst mit seiner Sohle weit höher gelegenen Flusses entstanden. Das Bodethal oberhalb Thale (namentlich im „Bodekessel"), das Okerthal zwischen Romkerhall und dem Orte Oker, sowie das Spreethal bei Kirschau 2c. bekunden dies zweifellos. Wenn daher gegenwärtig die Einen behaupten: die Flüsse er-

Textfigur 4.



höhen ihre Sohle, Andere dagegen: sie schneiden sich allmälig tiefer ein, so dürften hiernach beide Ansichten zu Recht bestehen, indem man (nach der systematischen Darstellung in Textfigur 4) die Vertiefung der Sohle im gebirgigen Theile, die Erhöhung in der Ebene zu suchen hat.

Es sind hier allerdings nur drei untersuchte Fälle als Beispiele aufgeführt worden. Bei Durchwanderung anderer Flußthäler aber finden wir nicht selten die Ausprägung dieser Erscheinung wiederholt vor, so daß hinsichtlich der Ausbildung der Flußbetten folgende Annahme als nicht ungerechtfertigt erscheint:

In früheren Zeiten größeren, oder vielleicht richtiger: gleichmäßiger vertheilten Waldbestandes sind den Niederungsflüssen Geschiebe resp. Sinkstoffe aus den Gebirgen zugeführt worden, theils in Folge der dortigen Sohlvertiefungen, theils durch seitliche Zurollungen. In der Niederung haben die Flüsse früher auf längere Zeit im Jahre — als jetzt — Mittel- und Uebermittel-Wasserstand gehabt und konnten sonach das zugeführte Material im Laufe des Jahres entsprechend weiter transportiren. Die Zuführung der Sinkstoffe hat ihren ungestörten Fortgang, ist nach Abtreibung von Busch und Bäumen von steileren Hängen eher noch größer geworden als früher. Der Umstand aber, daß in der Gegenwart ein Extrem der Wasserstände sich dadurch kundgiebt, daß auf kurze Zeit bedeutende, Geschiebe mit sich führende Hochfluthen eintreten, darnach aber auf weit größere Dauer Niederwasserstände mit geringerer Geschwindigkeit, als der Transport der Sinkstoffe erfordert, bewirkt die Erhöhung der Flußsohle in den Niederungsflüssen. Das dem Flusse im Mittel zugehörende Wasserquantum sucht sich nunmehr in der Breite Platz zu schaffen und zerstört die in der Ebene weicheren Ufer, so daß auch hierdurch die Sohlerhöhung gefördert wird und dergleichen Flüsse, deren es in Deutschland nicht wenige giebt, verwildern. Die Regulirung eines solchen Flusses ist nothwendig, nur wird man in vielen Fällen davon absehen müssen, sie als ein Verbesserungsmittel für alle Zeiten anzusehen, da das Mißverhältniß zwischen der Menge regelmäßig zugeführter Sinkstoffe und dem Mangel entsprechend treibender Kraft in den Niederungen auch nach der Regulirung fortbesteht und längere oder kürzere Zeit nach derselben sich wieder fühlbar macht. Nur da, wo man im Stande ist, dem zu regulirenden Flusse ein Gefälle zu geben, welches zum Transporte der Sinkstoffe (nach deren lokaler Größe) ausreicht, oder überhaupt: eine dementsprechende Geschwindigkeit des Niederwassers herzustellen, werden die Verlandungen der Sohlen der Niederungsflüsse verhütet werden können. Dies sind aber seltnere Fälle, denn in der Regel ist man nicht in der Lage, das meist schwache Gefälle nach diesem Gesichtspunkte einzurichten.

c) Die Versandung des Thalbodens.

Verfasser hat bereits früher im sächsischen Ingenieur-Vereine*) Gelegenheit genommen, die Versandung des Spree-thal-Bodens mit den Entwaldungen im Sammelgebiete des Flusses in Verbindung zu setzen und führt die damals angegebenen Daten zur Vervollständigung hier an. In der vorerwähnten Spreestrecke hatte Verfasser vor Aufstellung eines Regulirungsprojektes die physikalischen Eigenschaften des Thalbodens (wasserhaltende Kraft, capillare Erhebungszone, Bestandtheile u. s. w.) untersucht, namentlich in Rücksicht auf die, bei jeder Entwässerungsanlage gebotene Vorsicht: die Intensität der Entwässerung mit den physikalischen Eigenschaften des vorherrschenden Thalbodens in Einklang zu bringen. Die Schichtung des Alluvialbodens ist bekanntlich in der Regel von der Art, daß die gröberen Sinkstoffe unten liegen, während in der Vegetationskrume die feinerdige Masse abgelagert ist. Die untersuchten Proben des Spreethalbodens, welche bis zu einer Tiefe von angenähert 0,7 m ausgehoben wurden, verhalten sich dagegen umgekehrt: in der oberen, circa 0,1 m starken Schicht waren nahezu 50 Procent Sand (und 50 Feinerde) enthalten, während in dem darunter befindlichen Boden nur circa 40 Procent Sand (und circa 60 Feinerde) vorhanden waren. Dieser — beiläufig gesagt eisenschüssige, für die Vegetation der Wiesengräser nachtheilige — Sand stammte nicht direct von seitlichen Zuspülungen aus Feldern mit verwittertem Grundgebirge, sondern, wie aus der durchgehends kuglichen Gestalt der Sandkörner hervorging, aus dem Flusse, welcher häufig aus den Ufern trat und den Sand ablagerte. Mitunter waren diese Sandablagerungen sehr auffällig und massenhaft, so daß die Besitzer der betreffenden Grundstücke nicht selten gezwungen waren, Tage lang den Sand zusammenzurechen, um ihn sodann gewissenhaft wieder in den Fluß zu werfen!

*) Protokoll der 70. Hauptversammlung, 24. April 1870.

Diese sich von selbst vollziehenden Sand-Colmationen sind in den Fällen, wo der Thalboden ursprünglich vorwiegend aus Feinerde bestand, außerordentlich verderblich. Wir finden sie und die dadurch entstehende allmälige oder plötzliche Verschlechterung des Auenbodens auch an vielen anderen Flüssen. Im Beginne des Frühjahres 1881 waren im Okerthale hart unterhalb Braunschweig allein über 25 000 □m ertragsreicher Wiesenboden gänzlich mit Sand überzogen, an einigen Stellen bis zu 30 cm Höhe. Noch nachtheiliger aber sind jene Versandungen, welche allmälig, nicht ohne Weiteres bemerklich auftreten; der Boden wird ärmer an Pflanzennährstoffen, ärmer an wasserhaltender Kraft, dagegen häufig reicher an nachtheiligen Eisenoxydulen und meist erst nach Jahren, wenn die Ernten nach Qualität und Quantität geringwerthiger werden, geben sie sich zu erkennen.

Möglich, daß alle unter a) bis c) aufgeführten Erscheinungen aus der Zusammenwirkung verschiedentlicher Ursachen hervorgehen und nicht allein den Entwaldungen zuzuschreiben sind. Thatsache ist aber, daß die Produktionskraft des Reiches, soweit sie mit der Benutzung des Wassers in Verbindung steht, in mannichfaltiger Weise leidet. Jede Einzelmaaßregel wird auch so lange nicht viel nützen, bis nicht allgemein und systematisch ausgebreitete hydrologische Untersuchungen der Sammelgebiete über die eine oder andere Calamitätsursache Klarheit verschafft haben werden, oder — um mit der Heilkunde zu reden: die Diagnose festgestellt haben.

Dritter Abschnitt.

Vergleich der Messungsresultate mit den Ergebnissen der Formeln.

Es ist bekannt und aus den, die Instrumente und die Messungsoperationen behandelnden Abschnitten zu ersehen, wie umständlich und zeitraubend der Weg der Beobachtung oder Messung ist, auf welchem das Charakteristische der Bewegung des Wassers des einen oder anderen Wasserlaufes gefunden wird. Solange nicht Instrumente erfunden werden, mittelst deren man in wenigen Minuten eine ganze Vertikalcurve ꝛc. fix und fertig ermitteln kann, wird das bisherige Verfahren auch beibehalten werden müssen. Dieses sowie die Hülfsmittel hierzu, die Instrumente, sind aber immerhin wesentlich vervollkommnet worden, so daß uns die Resultate neuerer Messungen eine weit größere Gewähr für die Richtigkeit bieten, als die älteren. Die anerkennenswerthen Bemühungen vieler Hydrotekten, jener erwähnten Umständlichkeit auf dem Wege der Berechnung zu begegnen, haben zwar bisher noch nicht zu dem gewünschten Ziele: der Aufstellung einer zuverlässigen Theorie der Wasserbewegung geführt; dennoch aber kann man selbst diejenigen Calcüle, welche von den Resultaten exakter Messungen stark abweichen, nicht als vergebliche betrachten; nicht selten gelangt man ja bekanntlich erst durch Irrthümer zur Wahrheit. Zudem ist der Begriff des Irrens relativ; ein Calcül kann für einen bestimmten, speciellen Fall ganz richtig sein, wird aber erst dann zum Irrthum, wenn es als allgemeingültiges aufgestellt wird. Die Geschichte der Hydrometrie hat aber namentlich in neuerer Zeit gezeigt, daß das eine oder andere Calcül einzelne Wahrheiten enthalten und durch ein geschicktes Combiniren derselben ein guter Schritt vorwärts gethan werden kann. Verfasser erinnert hier nur an den „Versuch" von Ganguillet und Kutter „zur Aufstellung einer neuen allgemeinen Formel für die gleichförmige Bewegung des Wassers".

Von diesen Gesichtspunkten ausgehend, sollen die später folgenden Tabellen (namentlich die über die Differenzen in Procenten), welche die Abweichungen der Formeln enthalten, den Werth derselben für specielle Fälle nicht abstreiten, sondern sie sollen jene Formeln nur insofern beleuchten, als es sich um deren allgemeine Anwendbarkeit handelt. In die Reihe neuerer Formeln für die mittlere Geschwindigkeit v im ganzen Querprofile sind zugleich die ältere von Eytelwein und die neueste, von Harder, aufgenommen, sowie deren Resultate mit den Ergebnissen der Messungen verglichen worden.

Um aber einen specielleren Ueberblick auf die Verläßigkeit der Formeln zu gewinnen, genügt es nicht, letztere mit nur einer Messung zu vergleichen; selbst die im Detail erwähnten fünf eigenen Messungen des Verfassers erscheinen hierzu noch nicht ausreichend, da die bezüglichen Geschwindigkeiten nur innerhalb der Grenzen von rund 0,18m und 1,36m liegen. Aus diesem Grunde hat Verfasser noch anderweite 10 Messungen mit angefügt, deren Zuverlässigkeit unbestreitbar ist. Es betrifft dies Messungen von Bazin, Grebenau, Bornemann, Kutter und Harlacher.

In den folgenden Formeln bezeichnet R das Verhältniß $\frac{F}{p}$, d. h. der Querprofilfläche zum benetzten Umfang; sowie J das relative Gefälle. Die für die einzelnen Fälle zur Berechnung dienenden Werthe sind in Tabelle Nr. 8 angegeben; die Werthe für Coefficienten ꝛc. bei der Aufzählung der Formeln selbst. Die Reihenfolge der Messungsresultate ist nach der Zunahme der Geschwindigkeit bestimmt.

Ausführliche Auseinandersetzungen bezüglich der Entstehung der einzelnen Formeln zu geben, hält Verfasser für überflüssig und verweist auf die eingehenden Abhandlungen in Rühlmanns Hydromechanik (zweite Auflage, Seite 397), sowie auf das „Handbuch der Ingenieurwissenschaften", dritter Band, Wasserbau, herausgegeben von Franzius und Sonne. Nur betreffs der neuesten, vermuthlich noch nicht allgemein bekannten Theorie, von Harder, wird Verfasser eine grundzügliche Relation*) anführen. Die Reihenfolge der Formeln ist — um sie in Einklang mit der späteren Anordnung zu erhalten — keine chronologische, sondern eine dem Grade der Zuverlässigkeit (für die angegebenen 15 Fälle) entsprechende.

I.

Ganguillet und Kutter.

In scharfsinniger Weise haben beide schweizerischen Ingenieure diejenigen Bewegungsgesetze, wie sie sich durch Humphreys und Abbot an einem der größten Ströme der Erde: dem Mississippi, sowie durch Darcy und Bazin an kleinen Versuchskanälen ergeben haben, zu verbinden gewußt und gefunden, daß der Coefficient k in der allgemeinen Formel $v = k \cdot \sqrt{R \cdot J}$ nicht allein von R und dem Grade n der Rauhheit der Wände abhängig ist, sondern auch vom Gefälle J. Das Resultat ihrer Relationen ist:

$$v = \left\{ \frac{23 + \frac{0{,}00155}{J} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{J}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}} \right\} \cdot \sqrt{R \cdot J}$$

worin also der Coefficient k, welcher nach den Darlegungen**) genannter Autoren eine komplicirte Form annehmen muß, wenn er auf alle Fälle passen soll, den eingeklammerten Werth besitzt. Für die in Tabelle Nr. 8 angegebenen 15 Fälle hat Verfasser jedoch nicht hiernach die Geschwindigkeit v berechnet, sondern absichtlich nach einer, für 12 verschiedene Kategorien von Wasserläufen aufgestellten Tabelle zu k, wie sie in Grebenau's „Taschenbuch für Bautechniker" in erweiterter Form wiedergegeben ist. Diese Tabelle hat sich in der Praxis, welche zu-

*) Z. Th. recapitulirt aus des Verf. bezüglicher Abhandlung in der Zeitschrift des Hannov. Arch.- und Ing.-Vereins. 1880. S. 639.

**) „Versuch zur Aufstellung einer allgemeinen Formel für die gleichförmige Bewegung des Wassers", Bern, 1877. — Zeitschrift des österr. Ing.- u. Arch.-Vereins. 1869. Heft I. u. III. — Cultur-Ingenieur, 2. Bd. 1869.

Tabelle Nr. 8.

Nr.	Wasserlauf.	F □m	p m	Q Kbm	$v = \frac{Q}{F}$ m	$R = \frac{F}{p}$	$\sqrt{R}$	J
1.	Oker bei Leiferde. v. Wagner.	26,36	16,5	4,69				0,0000122
2.	Kunstgraben bei Freiberg. Civ.-Ing. XV. I.				0,283	0,417		0,000135
3.	Weser bei Holzminden. v. Wagner.	200,0	86,0	85,0				0,0000322
4.	Elbe. v. Wagner.	144,8	111,0	88,32	0,609			0,00020
5.	Backstein-Kanal. Bazin. — „Versuch" ꝛc. von Ganguillet und Kutter.				0,839		0,242	0,005025
6.	Hölzernes Gerinne. v. Wagner.	0,1628	1,18	0,1631	1,00			0,00216
7.	Elbe. (Hydr. Böhmens.) Harlacher.	245,4	122,1		1,10	2,01		0,000315
8.	Rhein. v. Wagner u. Grebenau.	577,6	225,0	786,0	1,3604			0,0002701
9.	Rhein. Grebenau.				1,540		1,819	0,000247
10.	Desgl.				1,945		1,449	0,001218
11.	Isar. Grebenau.				2,189		1,358	0,00250
12.	Kanal, Bruchsteinmauer. Bazin.				2,757		0,36	0,036856
13.	Grünbachschale. Kutter.				3,60		0,329	0,082850
14.	Desgl.				4,737		0,421	Desgl.
15.	Desgl.				5,844		0,444	0,106775

meist eine bequeme Handhabung und Zurechtlegung von rechnerischen Unterlagen verlangt, schon vielfach eingebürgert und ist Verfasser daher dieser Anforderung der Praxis nachgekommen. Für diejenigen der 15 Fälle in Tabelle Nr. 8, welche noch nicht hiernach berechnet worden sind, ergeben sich für k folgende Werthe:

Nr. in Tabelle 8.	Kategorie.	k.
1.	XI.	42,0
2.	IX und X.	37,5
3.	XI.	48,0
4.	XI.	40,0
6.	IV.	57,8
8.	XI.	49,0
11.	XI und XII.	34,9

Zu Nr. 2 und Nr. 11 ist zu bemerken, daß, weil bei jedem dieser Fälle zwei Kategorien passen, das arithmetische Mittel der k — entsprechend je 2 der angegebenen Kategorien — einzusetzen ist.

II.

P. E. Harder.

Die im Jahre 1878 in Druck erschienene „Theorie der Bewegung des Wassers ꝛc. von Harder" unterscheidet in der Voruntersuchung die bewegenden Kräfte von den widerstehenden und erörtert dieselben zunächst an einem Flusse von unendlicher Breite und constanter Tiefe. Vorausgesetzt, daß beide Kräfte auf allen Punkten der Flußbreite in einer und derselben Tiefe gleichmäßig wirken, ist sonach nur die **Einheit** der Breite in Betracht zu ziehen. Als Ursache der Bewegung gilt die in Folge der Wasserspiegel-Neigung entstehende Wirkung der Schwerkraft; ebenso wird der, namentlich von Prof. Dr. **Rühlmann** geführte Beweis dafür, daß die bewegende Kraft des Wassers nur von der Oberflächenneigung herrührt, zu Grunde gelegt. Denkt man sich die Wassermasse durch einen, mit dem Wasserspiegel parallelen Schnitt in der Entfernung x (vom Boden aus) in zwei Theile zerlegt, so wird — bei unten bemerkten Bezeichnungen*) — die **oberhalb** dieses Schnittes

*) H = ganze Wassertiefe. Geschwindigkeit: v_0 am Wasserspiegel, v_1 an der Sohle, v_{max} größte, v_m mittlere, v in der Höhe x über der Sohle; h = absol. Gefälle auf die Länge 1 und $\frac{h}{l} = J$.

befindliche Wassermasse ausgedrückt durch $(H - x)$ mal Breite 1; die untere durch x, mithin einfach durch die bezüglichen Höhen. Von unendlich vielen parallelen Schichten mit der Dicke dx wirkt jede auf die Fortbewegung mit einer, der Oberfläche parallelen Komponente ihres Gewichtes, sonach also in der Richtung der Bewegung, mit der Kraft $J \cdot dx$.

Durch Betrachtungen über die Molekular-Bewegung zwischen den einzelnen Wasserschichten sucht nun Harder die Differential-Gleichung

1) $$d(v - v_1)^2 = C \cdot (H - x) \cdot J \cdot dx$$

zu begründen, in welcher C eine Konstante bedeutet.

Diese Gleichung bildet die nächste Grundlage für die folgenden Entwickelungen, wonach sich für irgend einen, um x vom Boden entfernten Punkt die Geschwindigkeit ergiebt. Es ist

$$\int_{v=v_1}^{v=v} d(v - v_1)^2 = - C \cdot J \cdot \int_{x=0}^{x=x} (H - x) \cdot d(H - x),$$

oder

2) $$v - v_1 = \sqrt{C \cdot \left(H \cdot x - \frac{x^2}{2}\right) \cdot J}.$$

Für $x = H$ wird $(v - v_1)$ am größten, nämlich

3) $$v_0 - v_1 = H \cdot \sqrt{\frac{1}{2} C \cdot J},$$

also

4) $$v - v_1 = \frac{v_0 - v_1}{H} \cdot \sqrt{2 Hx - x^2}.$$

Bei bekanntem v_1 und C ergiebt sich aus 3) und 4) der Werth v.

Von den widerstehenden Kräften behandelt die Theorie specieller den Luftwiderstand und die Widerstände am Boden. In den Schichten an letzterem ist, wenn C′ eine Konstante, der Widerstand der Bodenmaterie proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit $= C' \cdot v_1^2$ gesetzt, während ein anderer Widerstand $C'' \cdot v_1^2$ durch die Unebenheiten des Bodens entsteht, so daß beide Widerstände zusammen $= (C' + C'') \cdot v_1^2$ betragen. Diese werden überwunden durch die Schwerkrafts-Komponente der ganzen Wassermasse, welche nach dem Obigen $H \cdot J$ beträgt; es ist also

$$(C' + C'') \cdot v_1^2 = H \cdot J$$

und — auf v_1 reducirt und $\sqrt{\frac{1}{C' + C''}} = C_0$ gesetzt — nach Gleichung 2):

$$v = C_0 \cdot \sqrt{H \cdot J} + \sqrt{C \cdot \left(Hx - \frac{1}{2} x^2\right) \cdot J}.$$

Für die Luftwiderstände gelten ähnliche Entwickelungen, nur daß hier geringere Widerstände auftreten. Mit Bezug auf Textfigur 5 entwickelt Harder

$$v_0 = C_0 \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{1}{n}\right) H \cdot J} + \left(1 - \frac{2}{n}\right) \cdot H \cdot \sqrt{\frac{1}{2} C \cdot J}$$

oder

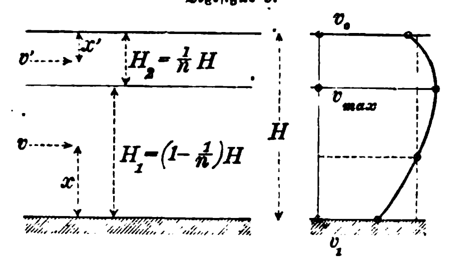
$C_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{n}} = C_1$ und $\left(1 - \frac{2}{n}\right) \cdot \sqrt{\frac{1}{2} C} = C_2$ gesetzt,

5) $$v_0 = C_1 \cdot \sqrt{H \cdot J} + C_2 \cdot H \cdot \sqrt{J},$$

6) $$v_1 = C_1 \cdot \sqrt{H \cdot J}.$$

Bei der Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit ist daran zu erinnern, daß in deren allgemeiner Gleichung $v = \frac{Q}{F}$ der Inhalt des Querprofiles in unserem Falle (bei der Breite 1) durch die Wassertiefe ausgedrückt wird. Bezeichnet v allgemein die Geschwindigkeit einer beliebigen Wasserschicht, wobei v′ und x′ sich auf den über der Maximalgeschwindigkeit befindlichen Theil bezieht, so wird die Wassermenge:

Textfigur 5.



$$\int_{x=0}^{x=H} v \cdot dx$$

oder das gesammte Quantum (nach der Figur)

$$\int_{x=0}^{x=H_1} v \cdot dx + \int_{x'=0}^{x'=H_2} v' \cdot dx' = H \cdot v_m$$

und

7) $$v_m = v_1 + \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2n^2 - 4n} + \frac{1}{n}\right) \cdot (v_0 - v_1).$$

Zu der mittleren Geschwindigkeit im begrenzten Flußbette übergehend, wird die Erscheinung in Rücksicht gezogen, daß die Querschnitte der Flüsse von mittlerer bis größter Ausdehnung sich — mehr nach Inhalt, als nach Form — zwischen Ellipse und Rechteck befinden, während bei kleineren Dimensionen die Profile zwischen Parabel und Ellipse liegen. Bei den Bezeichnungen: H = mittlere Tiefe; z_1 = allgemein irgend eine Wassertiefe einer Vertikalen; H_0 = größte Wassertiefe; b = Wasserspiegelbreite; F und p = Fläche und Umfang, sowie $R = \frac{F}{p}$; v_0 = größte Oberflächen-; $v_{0'}$ = allgemein die Geschwindigkeit am Wasserspiegel; $v_{m'}$ = mittlere Geschwindigkeit in einer Vertikalen, entwickelt Harder:

$$v = v_1 + \sqrt{\frac{1}{2} \cdot C \cdot \left(2 \cdot Rx - \frac{1}{2} x^2\right) \cdot J}$$

$$v_0 = v_1 + R \cdot \sqrt{C \cdot J}$$

für das Halbkreisprofil, weniger gültig für das rechteckförmige, und angenähert für elliptischen oder parabolischen Querschnitt.

Für die Ellipse ist (bei unendlicher Breite)

$$F = R \cdot b = \frac{\pi}{4} \cdot H_0 \cdot b, \text{ also } R = \frac{\pi}{4} \cdot H_0$$

und

$$v_0 = v_1 + H_0 \cdot \sqrt{\frac{\pi^2}{16} \cdot C \cdot J}$$

Beim Parabelprofil, wobei $R = \frac{2}{3} H_0$,

$$v_0 = v_1 + H_0 \cdot \sqrt{\frac{4}{9} \cdot C \cdot J}$$

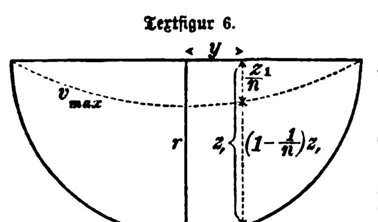
und in beiden Fällen:

$$v_0 = v_1 + H_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot C \cdot J}$$

ein sowohl der Parabel, wie der Ellipse entsprechender Mittelwerth. Mit Bezug auf die früheren Entwickelungen ergiebt sich nunmehr

$$v_{m'} = v_1 + \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2n^2 - 4n} + \frac{1}{n}\right) \cdot C_2 \cdot z_1 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot J}$$

Textfigur 6.



Mit den Bezeichnungen der Textfigur 6 bestimmt sich die mittlere Geschwindigkeit v_m im ganzen Querprofile aus:

$$F \cdot v_m = 2 \cdot \int_{y=0}^{y=r} v_{m'} \cdot z_1 \cdot dy.$$

Nach Auflösung des Integrales und $F = \frac{r^2\pi}{2}$ gesetzt, wird

8) $$v_m = v_1 + \frac{8}{3 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2n^2 - 4n} + \frac{1}{n}\right) \cdot C_2 \cdot R \cdot \sqrt{2 \cdot J}.$$

Aus dieser Gleichung, sowie aus der für die größte Oberflächengeschwindigkeit

9) $$v_0 = v_1 + \left(1 - \frac{2}{n}\right) \cdot R \cdot \sqrt{C \cdot J}$$

wird sodann das Verhältniß $\frac{v_m}{v_0}$ in einem längeren Ausdrucke entwickelt, für $C_1 = 39$ und für $C_2 = 7,8$ (bei Kanälen in Erde) gefunden.

Die Tiefe der Maximalgeschwindigkeit unter dem Wasserspiegel, als n^{ter} Theil der Gesammttiefe ausgedrückt, nimmt Harder zu $\frac{1}{n} = \frac{1}{20}$ an und erhält dann für

$R =$	$\frac{v_m}{v_0} =$
0,5	0,952
1,0	0,937
1,5	0,926
2,0	0,918
20	0,924
25	0,920
30	0,916.

Mit Benutzung des Mittelwerthes $\frac{v_m}{v_0} = 0,93$ ergiebt sich die Schlußgleichung

10) $$v_m = 36,27 \cdot \sqrt{R \cdot J} + 7,254 \cdot R \cdot \sqrt{J}.$$

Letzterer Ausdruck läßt sich für den praktischen Gebrauch leicht in die bekannte allgemeine Form bringen

11) $$v_m = c \cdot \sqrt{R \cdot J},$$

wenn man allgemein setzt:

12) $$c = k_1 + k_2 \sqrt{R}.$$

Hierin ist k_2 vorwiegend nur von dem Widerstande abhängig, welcher sich im Wasser selbst gegen die Bewegung kund giebt, es kann daher constant $k_2 = 7,254$ gesetzt werden. Dagegen hängt k_1 in hohem Grade von der Rauhheit der benetzten Wände ab. Herr Harder benutzt hierzu die bekannten Resultate der Bazin'schen Untersuchungen und setzt

a) $k_1 = 70,5$ bei Kanälen und sehr glatten Wänden (Cement ꝛc.),
b) $k_1 = 56,0$ bei Kanälen mit glatten Wänden (Bretter, Quader, Backstein),
c) $k_1 = 36,27$ bei Kanälen und Flüssen in Erde, auch rauhem Bruchsteinmauerwerk. (Für den praktischen Gebrauch dient eine Tabelle, in welcher für verschiedene R die Werthe von c berechnet sind.)

Im Allgemeinen verfolgt die Art der Behandlung des Stoffes den sachgemäßen Weg der ursprünglich abstrakten Betrachtung mit darauf folgender Beziehung zum konkreten Falle. Ebenso rationell erscheint die gesonderte Durchführung der bewegenden und der widerstehenden Kräfte mit deren verschiedenen Wirkungen. Bei den speciellen Entwickelungen für das begrenzte Flußbett kommen dagegen mehrere Umstände in Betracht, welche den Grad der Zuverläßigkeit der Formel 10) nachtheilig beeinflussen. Wenn man im Auge behält, daß das Resultat nicht für ganz generelle, ungefähre Schätzungen der Praxis Dienste leisten, sondern der Ausfluß einer korrekteren theoretischen Betrachtung sein soll, welcher die Stelle directer Messungen vertreten und somit Anspruch auf möglichste Genauigkeit haben muß, so kann das Verhältniß $\frac{v_m}{v_0}$, welches, wie wir später sehen werden, sich mit dem Wasserstand (wenn auch nur in engeren Grenzen) verändert, nicht constant gesetzt werden. Zudem ist der benutzte Werth von 0,93 um mehr als 30 Procent zu groß.

In ähnlicher Weise verhält es sich mit dem Werthe von $n = 20$, welcher willkürlich ist, auch nicht einem Mittelwerthe entspricht, wie wir im vierten Abschnitte unter Nr. 5. sehen werden. Die Veränderlichkeit von n hat aber einen wesentlichen Einfluß auf die Werthe der Formeln 8) und 9). Harder bezieht sich zur Begründung des Werthes von $n = 20$ auf Resultate mit Stabschwimmern, deren eingetauchte Länge über $^1/_3$ der Tiefe im Stromstriche betrug. Die mit langen Stabschwimmern erzielten Resultate sind allemal unzuverläßig, da zur Zeit ein Gesetz für die Geschwindigkeit, welche ein bis auf größere Tiefe hinabreichender Stabschwimmer annimmt, nicht ermittelt ist.

Die Endresultate sind schließlich in erwähntem Werke mit denjenigen directer Messungen (über 100) verglichen worden. Letztere datiren zum Theil aus den Jahren 1782, 1812 u. s. w. Ein anderer Theil giebt die mittlere Geschwindigkeit an, wie sie mit langen Stabschwimmern sich ergeben haben soll; ein dritter Theil endlich ist mit Oberflächenschwimmern in der Art bestimmt, daß für die mittlere Geschwindigkeit ein angenommener Bruchtheil von v_0 eingesetzt ist. Aus diesen Gründen erscheint von den vorerwähnten Messungsresultaten ein nicht unbedeutender Theil unbrauchbar oder zweifelhaft. Vergleicht man aber die auf Zuverläßigkeit Anspruch habenden Messungs-Resultate mit den berechneten, so ergiebt sich immerhin (wenigstens für die folgenden Beispiele der mittleren Geschwindigkeit), daß die Endformel Harders Werthe liefert, welche sich, ähnlich wie bei der Kutter'schen, der (genauen) Messung mehr annähern, als ältere Formeln.

Nach unsern Bezeichnungen würde sonach der Ausdruck für die mittlere Geschwindigkeit des Querprofiles lauten:

$$v = k_1 \cdot \sqrt{R \cdot J} + k_2 \cdot R \cdot \sqrt{J}$$

worin $k_2 = 7,254$ und:

$k_1 = 36,27$ für Nr. 1. 2. 3. 4. 7 bis 15.
$k_1 = 56,00$ „ „ 5 und 6 der Tab. 8.

III.

Darcy und Bazin.

Aus den Versuchen, welche Darcy an kleinen Kanälen mit verschiedenen Wandungen angestellt hatte, ergab sich das Resultat, daß der Grad der Rauhheit der Wände einen — wenigstens bei kleineren Wasserbetten — entschiedenen Einfluß auf die Größe der mittlen Geschwindigkeit hat. Die Gleichung der letzteren lautet:

$$v = \sqrt{\frac{R \cdot J}{\alpha + \frac{\beta}{R}}}$$

Die Größen α und β haben hierin verschiedene Werthe, je nachdem die Wände aus rauherem oder glätterem Material

bestehen. Von den hierzu gegebenen vier Kategorien kommen im Vorliegenden nur die letzten drei in Betracht und zwar sind:

für Nr.:	α:	β:
1. 3. 4. 8.	0,00028	0,00035
2.	0,00024	0,00006
6.	0,00019	0,0000133.

Die von Ganguillet und Kutter angefügte fünfte Kategorie: für Gewässer mit Geschieben — enthält die Werthe $\alpha = 0{,}0004$ und $\beta = 0{,}0007$. Die Berechnung der Nr. 3. 4. 8. ergiebt jedoch bei Benutzung dieser Werthe größere Abweichungen, als bei Einsetzung der Darcy'schen Zahlen, wie das Folgende zeigt:

Die mittle Geschwindigkeit v beträgt:

bei Nr.	Nach der Messung.	Berechnet nach Darcy: $\alpha = 0{,}00028$, $\beta = 0{,}00035$	Berechnet nach Darcy: α u. β mit den G. Kutter'schen Werthen.
3.	0,425	0,418	0,327
4.	0,577	0,616	0,471
8.	1,361	1,291	1,015

Demnach sind für die bezüglichen Nummern nur die Darcy'schen Angaben in Rücksicht gezogen worden.

IV.

Eytelwein.

Die bekannte Formel:

$$v = 50{,}9 \cdot \sqrt{R \cdot J}\,,$$

enthält den Coefficienten 50,9 (für Metermaaß) als constant, somit für alle 15 Fälle giltig.

V.

Gauckler.

Während in der Darcy-Bazin'schen Formel der Einfluß des Gefälles in den Hintergrund tritt, legt Gauckler besondres Gewicht auf die Größe des Gefälles und unterscheidet hiernach Gefälle über und unter 0,0007, da er gefunden haben will, daß im ersteren Falle eine andere Art der Bewegung (rollende) stattfindet, als bei $J < 0{,}0007$ (gleitende). Je nach dem einen oder anderen Falle setzt er:

a) bei Gefällen: J größer als 0,0007:

$$v = (\alpha \cdot \sqrt[3]{R} \cdot \sqrt[4]{J})^2$$

b) bei Gefällen: J kleiner als 0,0007:

$$v = (\beta \cdot \sqrt[3]{R} \cdot \sqrt[4]{J})^4$$

Die Formel unter a) ist anzuwenden bei Nr. 5. 6. 12. 13. 14. 15.
die unter b) bei Nr. 1. 2. 3. 4. 8. 9.

Von den Gauckler'schen sechs Kategorien kommen in Betracht:

Kategorie I. $\alpha = 9{,}25$ (Mittel aus 8,5 bis 10) bei Nr. 5 und 6.
Kategorie III. $\beta = 7{,}85$ (Mittel aus 7,7 bis 8) bei Nr. 2.
Kategorie VI. $\beta = 6{,}65$ (Mittel aus 6,3 und 7) bei Nr. 1. 3. 4. 8. 9.

Für die Nr. 10 und 11, bei welchen die Größe α in Betracht kommt, fehlen dessen Werthe in Kategorie VI. Der Vergleich mit der Gauckler'schen Formel fällt daher in diesen beiden Fällen aus.

VI.

Humphreys und Abbot.

Die amerikanischen Ingenieure haben bei ihren hydrometrischen Untersuchungen am Mississippi bekanntlich auch den Widerstand der Luft mit in Rechnung gebracht, indem sie in ihrer Formel*):

$$v = \left\{\sqrt{0{,}0025 \cdot m + \sqrt{68{,}72 \cdot R \cdot \sqrt{J}}} - 0{,}05 \sqrt{m}\right\}^2$$

für R nicht $\frac{F}{p}$ einsetzen, sondern den Umfang noch durch die Wasserspiegelbreite w vermehren, so daß in diesem Falle $R = \frac{F}{p + w}$ zu setzen ist.

Hierin ist $m = \frac{0{,}935}{\sqrt{R} + 0{,}457}$

VII.

Bornemann.

Im „Civilingenieur" (1869. S. 13) hat genannter Autor die Gauckler'schen Formeln einer eingehenden Prüfung unterzogen und gesucht, die — je nach der Gefällsgröße verschiedenen — Formeln in eine zu vereinigen mit der Beziehung:

$$R \cdot J = \frac{\gamma'}{\sqrt[3]{R}} \cdot \sqrt[5]{J} \cdot v$$

so daß also der Ausdruck**) für v lautet:

$$v = \frac{1}{\gamma'} \cdot \sqrt[3]{R^4} \cdot \sqrt[5]{J^4}$$

oder:

$$v = \frac{1}{\gamma'} \cdot (\sqrt[3]{R} \cdot \sqrt[5]{J})^4$$

wobei in vier Kategorien der Werth für γ' angegeben wird zu:

I.	Hölzerne Gerinne	0,000623
II.	Gemauerte Gräben	0,001090
III.	Ungemauerte Gräben	0,001600
IV.	Flüsse	0,003900.

Je nach dem Charakter der in Tabelle Nr. 8 angegebenen Wasserläufe ist zu setzen:

$\gamma' = 0{,}00390$ für Nr. 1. 3. 4. 7. 8. 9. 10. 11.
$\gamma' = 0{,}00109$ „ „ 2. 5. 12. 13. 14. 15.
$\gamma' = 0{,}000623$ „ „ 6.

---

*) In dem von Prof. Harlacher herausgegebenen Werke: „Beiträge zur Hydrographie des Königr. Böhmen", auf welches Verfasser mehrfach Bezug genommen hat, sind hinsichtlich dieser Formel zwei Druckfehler zu berichtigen. Einestheils fehlt dort (auf Seite 27) der Exponent 2, giltig für die rechte Seite der Gleichung für v; anderntheils ist in dem Ausdrucke für m im Nenner statt der Zahl „0,475" zu setzen: „0,457".

Desgleichen in Rühlmanns Hydromechanik, 2. Auflage, Seite 402 unten, woselbst zwei Druckfehler:

statt „—" (unter der Wurzel) ist zu setzen: „+"
„ „0,437" (bei m —) ist zu setzen: „0,457".

**) Im „Civilingenieur" lautet auf Seite 42 die Gleichung einmal: $v = \gamma \cdot \sqrt[3]{R^4} \cdot \sqrt[5]{J^4}$ und kurz darauf: $v = \frac{1}{\gamma} \cdot \sqrt[3]{R^4} \cdot \sqrt[5]{J^4}$. Vermuthlich fehlt hier ein Index, so daß $\gamma = \frac{1}{\gamma'}$ und nicht γ sondern γ' den oben unter I. bis IV. angegebenen Werthen gleich zu setzen ist. Diese Verwechselung ist auch auf neuere Werke über Wasserbau und Hydromechanik übergegangen.

VIII.

Hagen.

Nach Verlassen der von ihm im Jahre 1860 aufgestellten Formel gelangte derselbe zu zwei neuen Ausdrücken für v und zwar:

$$v = 4{,}90 \cdot R \cdot \sqrt[5]{J} \text{ für kleine Wasserläufe;}$$

$$v = 3{,}34 \cdot \sqrt{R} \cdot \sqrt[5]{J} \text{ für Flüsse und Ströme.}$$

Die erstere ist auf die Nr. 1. 5. 6. 12. 13. 14. 15. anzuwenden; die letztere auf Nr. 3. 4. 8. 9. 11.

Soweit nun 15 zuverlässige Messungsresultate im Stande sind, durch ihren Vergleich mit den Ergebnissen der erwähnten 8 Formeln als Basis für ein Urtheil über deren allgemeine Anwendbarkeit zu dienen, giebt die Tabelle Nr. 9, in welcher die mittleren Geschwindigkeiten angegeben sind, Aufschluß. Desgleichen Tabelle Nr. 10, welche die Differenzen in Procenten (der gemessenen Geschwindigkeit) enthält. Zum Mindesten wird man diesen Zusammenstellungen eine große Mannichfaltigkeit der Charaktere nicht versagen können. Wir haben es hier zu thun mit hölzernem Gerinne, gemauerten Gräben, ausgepflasterten Wildbachschalen, kleinen Flüssen von circa 15 m und Strömen von 84 bis 200m Breite. Es sind Geschwindigkeiten vorhanden von rund 0,18 bis 5,8m pro Secunde und Gefälle — pro 1000m Länge — von 0,012m bis 106m. Heben wir die geringsten und größten Abweichungen hervor und fügen wir die arithmetischen Mittel aus den Einzelwerthen bei, so ergeben sich folgende Vergleichsresultate:

Formel von	Abweichungen der Formelresultate in **Procenten** der gemessenen v.				
	geringste.	größte.	Arithm. Mittel der zu kleinen Werthe.	Arithm. Mittel der zu großen Werthe.	Arithm. Gesammtmittel ohne Rücksicht auf + oder —
I. Ganguillet-Kutter.	0,2	8,3	2,55	5,30	3,54
II. Harder.	2,0	21,6	4,70	12,56	9,94
III. Darcy-Bazin.	1,60	42,8	9,22	12,95	10,60
IV. Eytelwein.	1,5	57,9	6,40	26,80	22,70
V. Gauckler.	6,2	74,7	48,80	25,23	32,50
VI. Humphreys-Abbot.	7,3	124,2	49,40	43,30	47,40
VII. Bornemann.	7,5	200,8	34,50	98,00	64,00
VIII. Hagen.	14,9	357,8	57,70	97,90	71,13

Sobald man die Abweichung (letzte Colonne) der Formel I. auf 1 reducirt, so ergiebt sich der Grad der Abweichung in derselben Reihenfolge zu:

1. 2,8. 3. 6,7. 9,2. 13,3. 18. 20.

in nahezu demselben Maaße, wie Verfasser in den Protokollen (vom 14. November 1869) des sächs. Ingen.- und Arch.-Vereins gezeigt hat.

Zu größerer Uebersichtlichkeit der Resultate sind die Geschwindigkeiten in den Figuren 69 bis mit 76 aufgetragen. Aus Figur 77, 78, 79 und 80 ersieht man die procentualen Abweichungen der Formeln I bis IV in jedem der 15 Fälle; aus Figur 81 die arithmetischen Mittel der zu kleinen sowie der zu großen Procentwerthe. Endlich stellt noch Fig. 82 dar, in wie vielen Fällen ein zu großer, resp. ein zu kleiner Werth resultirt.

Selbstverständlich können sich diese Ziffern ändern, sobald man ein solches Vergleichsverfahren auf eine noch größere Zahl von zuverlässigen Beispielen erstreckt. Im großen Ganzen aber ergeben sich jedoch immerhin folgende Resultate:

1. Die Formel von Ganguillet und Kutter weicht unter allen bisher aufgestellten am wenigsten von den Resultaten exakter Messungen ab. Die Anzahl der Plus- und der Minus-Werthe gleicht sich nahezu aus.

2. Die Formeln, deren Resultate sich nächstdem noch am meisten den Messungen anschließen, sind die von Darcy-Bazin und von Harder.

3. Die Eytelwein'sche Formel giebt vorwiegend zu große Werthe an und ist nebst

4. allen übrigen Formeln zu einer allgemeinen Anwendung nicht geeignet.

Betreffs der Ganguillet-Kutter'schen Formel und ihres Gebrauches hält Verfasser übrigens noch zwei Bemerkungen für erforderlich:

Beide Autoren geben bei der interessanten Entwicklung ihrer Endresultate auch ein graphisches Verfahren zur Bestimmung des mehrerwähnten Coefficienten k an, bei welchem im Ganzen nur sechs Kategorien der Rauhheitsart aufgestellt sind. Verfasser hat mehrfach gefunden, daß die hiernach erhaltenen Werthe nicht selten und mitunter nicht unwesentlich von denjenigen abweichen, welche sich aus der erwähnten Coefficienten-Tabelle bei gegebenem R und mit Zugrundelegung von 12 Kategorien ergeben. Aus den verschiedentlichsten Fällen geht aber hervor, daß sich die Resultate der letzteren Verfahrungsart besser, zum wenigsten nicht schlechter an die Messungen anschließen, als die auf dem graphischen Wege ermittelten. Verfasser hält die Benutzung der Coefficienten-Tabelle für den praktischen Gebrauch für empfehlenswerther, weil sie dem Praktiker noch bequemer ist und außerdem — und dies betrifft die zweite Bemerkung — eher Combinirungen zuläßt, welche für einzelne Fälle als nothwendig erscheinen dürften. Wenn es sich z. B. um einen (mittleren) Fluß handelt, dessen Sohle — wie nicht selten — viel Algengewächse enthält, so paßt auf diesen Fall sowohl die Kategorie X (kleine Kanäle mit Pflanzen und Gras, auch felsig mit Steinwürfen), als auch die Kategorie XI (Bäche und Flüsse ꝛc.). Beispielsweise R = 0,95 gesetzt, giebt die Tabelle sodann den Coefficienten k

in Kategorie X: = 44,4
" " IX: = 36,9.

In solchen Fällen muß das Mittel aus beiden Werthen, hier also $\frac{44{,}4 + 36{,}9}{2} = 40{,}6$ in Rechnung gebracht werden, wenn eine angenäherte Uebereinstimmung erzielt werden soll. Nähere Belege hierzu enthält eine Abhandlung des Verfassers in den Protokollen der 85. Hauptversammlung des sächs. Ingen. und Arch.-Vereins („Harmonische Resultate der Ganguillet-Kutter'schen Formel ꝛc.")

Tabelle Nr. 9.

Mittlere Geschwindigkeit v in Metern, pro Secunde.

Nr.	Aus der Messung ermittelt.	Berechnet nach den Formeln von: I. Ganguillet und Kutter.	II. Harder.	III. Darcy und Bazin.	IV. Eytelwein.	V. Gauckler.	VI. Humphreys und Abbot.	VII. Bornemann.	VIII. Hagen.
1.	0,178	0,185	0,201	0,198	0,225	0,045	0,399	0,056	0,815
2.	0,283	0,281	0,307	0,195	0,382	0,160	0,351	0,229	0,415
3.	0,425	0,415	0,410	0,418	0,441	0,194	0,611	0,201	0,644
4.	0,609	0,645	0,719	0,688	0,822	0,557	0,727	0,401	0,694
5.	0,839	0,764	0,991	0,839	0,873	0,915	0,321	0,302	0,996
6.	1,000	0,998	1,013	1,020	0,879	1,062	0,489	0,843	0,198
7.	1,100	1,160	1,171	1,180	1,280	1,610	1,020	1,030	0,900
8.	1,361	1,290	1,261	1,291	1,340	1,857	1,123	1,259	1,035
9.	1,540	1,518	1,414	1,458	1,455	2,382	1,267	1,644	1,154
10.	1,945	1,942	2,366	2,393	2,574	—	1,501	3,140	1,265
11.	2,189	2,369	3,133	3,125	3,456	—	1,691	4,805	1,369
12.	2,757	2,707	2,687	2,610	3,518	3,146	0,787	4,291	0,328
13.	3,600	3,410	3,661	3,352	4,820	4,184	0,881	6,452	0,322
14.	4,737	4,957	4,765	5,042	6,168	5,812	1,127	12,453	0,528
15.	5,844	6,094	5,729	6,210	7,385	7,083	1,262	17,580	0,618

Tabelle Nr. 10.

Differenzen, in Procenten (der gemessenen v) angegeben.

„+ und —" bedeuten: „zu groß" und „zu klein".

Nr. der Tab. 9.	I. Ganguillet-Kutter.	II. Harder.	III. Darcy-Bazin.	IV. Eytelwein.	V. Gauckler.	VI. Humphreys-Abbot.	VII. Bornemann.	VIII. Hagen.
1.	+ 3,9	+ 12,9	+ 11,2	+ 26,4	— 74,7	+ 124,2	— 68,5	+ 357,8
2.	— 0,7	+ 8,5	— 31,1	+ 35,0	— 43,5	+ 24,0	— 19,1	+ 46,7
3.	— 2,4	— 3,5	— 1,6	+ 3,8	— 54,3	+ 43,8	— 52,7	+ 51,5
4.	+ 5,0	+ 18,0	+ 13,0	+ 35,0	— 11,7	+ 19,0	— 33,5	+ 13,9
5.	— 8,9	+ 18,1	0,0	+ 4,1	+ 9,1	— 61,7	— 64,0	+ 18,7
6.	— 0,2	+ 1,3	+ 2,0	— 12,1	+ 6,2	— 51,1	— 15,7	— 80,2
7.	+ 5,5	+ 6,4	+ 7,3	+ 16,4	+ 46,4	+ 7,3	— 6,6	— 18,2
8.	— 5,2	— 7,3	— 5,1	— 1,5	+ 36,5	— 17,5	— 7,5	— 24,0
9.	— 1,4	— 8,2	— 5,3	— 5,5	+ 54,7	— 17,7	+ 6,5	— 25,0
10.	— 0,2	+ 21,6	+ 23,0	+ 32,3	—	— 22,8	+ 61,4	— 35,0
11.	+ 8,3	+ 43,1	+ 42,8	+ 57,9	—	— 22,8	+ 119,5	— 37,5
12.	— 1,8	— 2,6	— 5,3	+ 27,7	+ 14,1	— 71,5	+ 55,6	— 88,1
13.	— 5,3	+ 1,7	— 6,9	+ 33,9	+ 16,2	— 75,5	+ 79,2	— 91,1
14.	+ 4,6	+ 0,6	+ 6,4	+ 30,2	+ 22,7	— 76,2	+ 162,9	— 88,9
15.	+ 4,3	— 2,0	+ 6,3	+ 26,4	+ 21,2	— 78,4	+ 200,8	— 89,4

Vierter Abschnitt.

Einzel-Ergebnisse und ihre Anwendungen.

1. Das Verhältniß $\frac{v}{C}$ der mittleren Geschwindigkeit zur größten Oberflächengeschwindigkeit.

Um einigermaaßen zu erkennen, ob und in wie weit zwischen C und v ein regelmäßiges Verhältniß besteht, konnten die Resultate der Messungen des Verfassers allein nicht ausreichen, sondern mußten Ergebnisse noch anderer Messungen benutzt werden, über welche die Tabelle Nr. 11 das Nähere angiebt.

Im Allgemeinen läßt sich bereits aus der Tabelle erkennen:

1. das Verhältniß $\frac{v}{C}$ ist nicht constant;
2. es wächst mit der Größe der Flüsse,

Tabelle Nr. 11.

Laufende Nr.		Wasserspiegelbreite; rund. m.	Mittlere Tiefe, R. m.	v.	C.	$\frac{v}{C}$	Bemerkungen.
1.	Oker, v. Wagner	14	1,7	0,178	0,263	0,676	Nr. 1 der Tabelle 8.
2.	Weser, „ „	84	2,3	0,425	0,612	0,694	„ 3 „ „ „
3.	Elbe, „ „	110	1,4	0,609	0,785	0,775	„ 4 „ „ „
4.	Rhein, „ „ und Grebenau	215	2,7	1,361	1,901	0,715	„ 8 „ „ „
5.	oberer Elbe-Wasserstand, Harlacher	121	2,0	1,100	1,420	0,774	„ 7 „ „ „
6	mittlerer Elbe-Wasserstand, Harlacher	120	1,6	0,950	1,270	0,748	
7.	unterer Elbe-Wasserstand, Harlacher	105	1,2	0,760	1,110	0,685	
8.	Mittelbach, Grebenau	1,6	0,23	0,302	0,452	0,667	
9.	Fuchsbach, „	3,0	0,25	0,350	0,512	0,684	
10.	Hockenbach, „	3,4	0,35	0,439	0,627	0,700	
11.	Lauterkanal, „	10,5	1,6	0,371	0,537	0,690	
12.	Rhein, „	219	1,8	1,258	1,797	0,700	— 0,52 Sondernheimer Pegel
13.	„ „	218	2,32	1,262	1,800	0,701	— 0,12 „ „
14.	„ „	221	2,32	1,240	1,704	0,727	— 0,11 „ „
15.	„ „	222	2,46	1,230	1,760	0,700	— 0,07 „ „
16.	„ „	224	2,45	1,298	1,800	0,717	+ 0,07 „ „
17.	„ „	224	2,399	1,394	1,942	0,718	+ 0,13 „ „
18.	„ „	226	2,810	1,542	2,072	0,744	+ 0,56 „ „
19.	„ „	228	3,308	1,539	2,053	0,750	+ 1,00 „ „
20.	„ „	232	3,648	1,479	2,083	0,710	+ 1,22 „ „
21.	„ „	237	3,952	1,708	2,387	0,715	+ 1,687 „ „
22.	„ „	253	3,846	1,839	2,487	0,739	+ 2,06 „ „
23.	„ „	275	5,894	2,009	2,703	0,743	+ 4,23 „ „
24.	Donau, Harlacher	425		2,016	2,785	0,724	

und — wenn man einen und denselben Fluß bei verschiedenen Wasserständen betrachtet (Nr. 5—7; Nr. 12—23):

3. es wächst mit der Zunahme des Wasserstandes, was wiederum identisch ist mit der Bemerkung unter 2. Von einigen Hydrotekten ist der Werth von $\frac{v}{C}$ im Mittel zu 0,8 angegeben worden. Nächst dem Umstande, daß ein Mittelwerth überhaupt von zweifelhaftem Nutzen ist, erhellt aber aus der Tabelle, daß dieser Werth zwischen 0,65 und 0,80 liegt, im Mittel also 0,72 ist und somit kleiner, als der vorerwähnte. Selbst für die praktische Anwendung, um auf angenähertem Wege ein Wasserquantum zu bestimmen, ist die Annahme eines Mittelwerthes zu ungenau; es erübrigt daher noch, nachzusehen, in welcher Weise sich eine Abhängigkeit zwischen v und C kund giebt.

Verfasser hat die Tabellenwerthe von C als Abscissen, die von v als Ordinaten in der Verjüngung 1:10 aufgetragen. Die in Fig. 83 angegebenen Coordinaten entsprechen einer Verjüngung von 1:20. Durch die Verbindung der Ordinaten-Endpunkte entsteht ein an etlichen Stellen nach Oben und Unten ausweichender Linienzug, dessen Gesammtrichtung aber auf eine bestimmte Regel schließen läßt. Zieht man daher eine ausgleichende, die Mitte jener Abweichungen haltende Linie, so ergiebt sich eine flachgekrümmte und zwar mit der Zunahme von C immer flacher werdende Curve. Von den 24 Tabellenwerthen für v fallen 17 ganz oder sehr angenähert in diese Curve, während die übrigen 7 um durchschnittlich vier Procent abweichen. Hiernach lag die Vermuthung nahe, daß die Curve ein Theil der Parabel zweiten Grades ist, welche durch den Anfangspunkt der Coordinaten geht und die Gleichung hat:

$$y = a \cdot x + b \cdot x^2$$

Wenn wir für die Ordinaten y die Werthe der v und für die Abscissen x diejenigen der C einsetzen, so handelt es sich zunächst um die Bestimmung der beiden numerischen Coefficienten a und b. Zu diesem Zwecke sollen die Coordinaten der am weitesten auseinanderliegenden, mit der Curve zusammenfallenden Punkte eingesetzt werden, welche in der Tabelle 11 mit Nr. 1 und Nr. 23 bezeichnet sind. Analog der allgemeinen Gleichung ist sodann:

$$y_1 = a \cdot x_1 + b \cdot x_1^2$$
$$y_{23} = a \cdot x_{23} + b \cdot x_{23}^2$$

oder, die betr. Werthe eingesetzt:

$$0{,}178 = a \cdot 0{,}263 + b \cdot 0{,}069$$
$$2{,}009 = a \cdot 2{,}703 + b \cdot 7{,}30.$$

Aus diesen Gleichungen bestimmt sich:

$$\begin{cases} a = 0{,}67 \\ b = 0{,}027. \end{cases}$$

Um zu prüfen, ob bei Zugrundelegung dieser Werthe auch zwischen Nr. 1 und Nr. 23 liegende Punkte einer solchen Parabel entsprechen, sind auch die übrigen, der Curve nahe liegenden Punkte berücksichtigt worden. Hiernach beträgt z. B.

für Nr. 8 der Tab.: v = y = 0,308 berech.... 0,302 nach d. Tab.
„ „ 10 „ „ : v = y = 0,431 „ ... 0,439 „ „ „
„ „ 7 „ „ : v = y = 0,769 „ ... 0,760 „ „ „
„ „ 16 „ „ : v = y = 1,294 „ ... 1,298 „ „ „
„ „ 24 „ „ : v = y = 2,074 „ ... 2,016 „ „ „

Für eine empirische Gleichung ist somit völlig ausreichende Genauigkeit nnd Zutreffen vorhanden. Auch sind hierbei die verschiedentlichsten Wasserläufe in Betracht gezogen: kleine Bäche von 1,6 bis 3,4 m Breite; kleine Flüsse von 10 bis 14 m Breite und Ströme von 84 bis 425 m Breite; Geschwindigkeiten (C) von 0,26 bis nahezu 3,0 m; Tiefen von 0,23 bis 6,0 m. Die Messungen, aus denen sich die verschiedenen v und C ergeben haben, sind mit großer Sorgfalt ausgeführt und hierzu zuverlässige Instrumente und Methoden benutzt worden.

Im Hinblick hierauf läßt sich demnach das Verhältniß $\frac{v}{C}$ feststellen zu:

$$v = 0{,}67 \cdot C + 0{,}027 \cdot C^2$$

Diese Gleichung hat für praktische Zwecke großen Werth, denn sie erspart dem Hydrotekten die umständlichen und zeitraubenden Messungen der Vertikalcurven. Sobald es sich nur darum handelt, die Wassermenge eines Flusses zu bestimmen, und es auf wenige (etwa 4) Procent Differenz nicht ankommt, bedarf es nur der Peilung eines geeigneten Querprofiles und der Beobachtung mehrerer Gruppen von Oberflächenschwimmern, aus denen sich C ergiebt und mit obiger Gleichung auch v, resp. die Wassermenge $Q = v \cdot F$.

Das Verfahren bei den Geschwindigkeitsmessungen mittelst Oberflächenschwimmern ist für Ströme und kleine Flüsse im zweiten Abschnitte unter B) 4. bereits angegeben worden. Im vorliegenden Falle wird die Zeit der Messungen noch kürzer, weil es in der Regel möglich sein wird, die Punkte des Querprofiles von vornherein zu übersehen, an denen die geringsten Geschwindigkeiten vorkommen. Es wird also zumeist genügen, die Schwimmergruppen nur auf einem Theile der Wasserspiegelbreite zu beobachten und die Theile der geringeren Geschwindigkeiten auszuschließen. Es empfiehlt sich aber auch hier, vor den Messungen erst die Gestalt des Wasserspiegel-Längenprofiles genau zu prüfen, resp. auf die etwa doppelte Länge des Schwimmerweges den Wasserspiegel genau zu nivelliren, um sich zu vergewissern, daß innerhalb der Schwimmerbeobachtungsstrecke nicht wesentlich verschiedene Gefälle vorhanden sind. Ist dies dennoch der Fall, so muß das zu untersuchende Querprofil an eine solche Stelle verlegt werden, welche ober- und unterhalb ein nahezu gestrecktes Gefälle aufweist; oder es muß der Schwimmerweg dem entsprechend verkürzt und — um die damit verbundenen Nachtheile auszugleichen — die Zahl der Schwimmer für jeden der zu untersuchenden Querprofilpunkte (also für jede Gruppe) vermehrt werden. Ebenso wird sodann die Benutzung eines Secundenzählers räthlich, welcher auch Bruchtheile der Secunde angiebt. Wird diese Vorsicht gebraucht und das C eines Flusses bei drei oder vier verschiedenen Wasserständen desselben ermittelt, so läßt sich dann auch mit guter Annäherung eine Wassermengen-Curve bestimmen, welche wenigstens für praktische Zwecke ausreicht und den Hydrotekten weit eher in den Stand setzt, den betr. Fluß und seine Eigenschaften kennen zu lernen, als ohne solche Messungen.

2. Das Verhältniß $\frac{V_m}{V_o}$ der mittleren Geschwindigkeit (in einer Vertikalen) zur Oberflächengeschwindigkeit.

Dieses Verhältniß wird einestheils als einer der bestimmenden Faktoren benutzt, mittelst deren man theoretisch die Gesetze der Bewegung des Wassers festzustellen sucht. Anderntheils eignet es sich als Coefficient zu angenäherter Bestimmung eines Wasserquantums. Im ersteren Falle sind vorwiegend die von Humphreys und Abbot, sowie die von Harder aufgestellten, resp. entwickelten Ausdrücke zu erwähnen, welche die Beziehungen zwischen V_m und V_o enthalten.

Die genannten amerikanischen Ingenieure setzen eine vollkommene Parabelform voraus und ermitteln:

$$\text{I)}\qquad V_m = \frac{1}{3}\left[2 \cdot V + V_u + \frac{t}{T}(V_o - V_u)\right]$$

worin V die größte Geschwindigkeit (in der Parabelachse) ist, V_o und V_u die Geschwindigkeiten am Wasserspiegel und an der Sohle, t die Tiefe der Parabelachse und T die ganze Tiefe. Dafern V nicht bekannt oder sehr nahe $= V_o$ ist, kann man für obige Gleichung angenähert setzen:

$$V_m = \frac{1}{3}\left[2 \cdot V_o + V_u + \frac{t}{T}(V_o - V_u)\right]$$

Je nachdem sich die Vertikalkurve mehr oder weniger einer Parabel nähert, nähern oder entfernen sich auch die berechneten Werthe verglichen mit den aus der Division der Parabelfläche F durch die Tiefe T erhaltenen Größen von V_m, wie aus folgenden Beispielen hervorgeht:

Weser (Verf.)		Elbe (Verf.)	
$V_m = \frac{F}{T}$	V_m berechnet.	$V_m = \frac{F}{T}$	V_m berechnet.
0,357	0,389	0,622	0,600
0,473	0,476	0,653	0,655
0,484	0,501	0,661	0,657
0,481	0,480	0,697	0,691
0,396	0,386	0,608	0,628
0,298	0,304	0,533	0,560
—	—	0,480	0,506

Die Differenzen gehen in diesen Beispielen bis zu 10 Procent und zwar sind die berechneten Werthe zumeist größer. Der Grund hierzu liegt in der Annahme einer vollkommenen Parabelform, während, wie wir im vierten Abschnitte unter 5) sehen werden, Abweichungen von der Normalform stets vorkommen und häufig nicht unbedeutend sind.

In der „Theorie der Bewegung des Wassers" von Harder entwickelt derselbe (auf Seite 131 daselbst) die Beziehung:

$$(V_m - V_u) \cdot T = \int_{\tau=0}^{\tau=\left(1-\frac{1}{n}\right)T} (v - V_o)\, d\tau + \int_{\tau'=0}^{\tau'=\frac{1}{n}T} (v' - V_o)\, d\tau'$$

worin v und v′ die Geschwindigkeiten in einer Tiefe τ resp. τ′ ist, sowie $\frac{1}{n}T$ denjenigen Theil der Gesammttiefe ausdrückt, woselbst die Maximalgeschwindigkeit vorhanden ist. Die Schlußgleichung für V_m lautet nach weiterer Entwicklung jener Beziehung:

$$\text{II)}\qquad V_m = V_u + \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2n^2 - 4n} + \frac{1}{n}\right) \cdot (V_o - V_u)$$

wobei Herr Harder annimmt, daß n = 20 oder die Maximalgeschwindigkeit in $\frac{1}{20}$ der Tiefe liege. Für diesen Werth ergiebt sich sodann

$$V_m = V_u + 0{,}83 \cdot (V_o - V_u).$$

Der Humphreys-Abbot'sche Ausdruck für V_m unterscheidet sich vom Harder'schen zunächst dadurch, daß in ersterem die Maximalgeschwindigkeit V enthalten ist. Wenn beide Gleichungen richtig wären, so müßten deren rechte Seiten gleichgesetzt werden können, also (für $\frac{t}{T} = \frac{1}{n}$ gesetzt):

$$\frac{1}{3}\left[2 \cdot V + V_u + \frac{1}{n}(V_o - V_u)\right] = V_u + 0{,}83 \cdot (V_o - V_u)$$

oder die Maximalgeschwindigkeit betragen:

$$\text{III)}\qquad V = 0{,}22 \cdot (5{,}50 \cdot V_o - V_u).$$

Vergleicht man die hiernach berechneten Werthe für V mit den aus der Messung stammenden Werthen, so ergeben sich selbst bei den Vertikalcurven, in denen n nahezu 20 beträgt, zu bedeutende Differenzen, als daß die Gleichung III. als allgemein giltig angesehen werden könnte. Der Werth von n ist übrigens außerordentlich schwankend; bei einigen Vertikalcurven ist $\frac{1}{n}$ nahezu Null; bei anderen — wie bei etlichen Donau-Curven*) — liegt die Maximalgeschwindigkeit im vierten Theil der Tiefe. In der Curve Fig. 86 ist n = 5 u. s. w. Aus dem Vergleiche mit einer großen Anzahl Curven hat Verfasser gefunden, daß n in diesen zwischen 4 und 28 schwankt. Berechnet man aus Gleichung II. die mittlere Geschwindigkeit für die Rhein-Curve Fig. 86, indem man für V_u etwa den dort angegebenen Werth von 0,18 m und für n — wie es der Fall ist — den Werth 5 einsetzt, so ergiebt sich der Klammer-Faktor vor $(V_o - V_u)$ zu wenig mehr als 1 und sodann sehr nahe $V_m = V_o$, was sich bei Betrachtung jener Curve als unrichtig erweist. Uebrigens ist es stets eine mißliche Sache, Größen wie „Geschwindigkeit an der Sohle" in die Rechnung einführen zu wollen. Direct auf der Sohle selbst muß die Geschwindigkeit zu Null angenommen werden und 'Geschwindigkeit „an" der Sohle' bleibt stets eine unklare und unbrauchbare Bezeichnung, so lange man nicht angiebt, wie hoch der betr. Wasserfaden über der Sohle liegt, dessen Geschwindigkeit man mit „Sohlgeschwindigkeit" ausdrücken will. Genauere Vergleiche mathematischer Reflexionen mit den Resultaten exakter Beobachtungen sind in Folge dessen ausgeschlossen. Werden letztere vorwiegend mit Instrumenten ausgeführt, welche die Geschwindigkeit durch Umdrehungen von Flügelschaufeln angeben, so ist die Höhe des untersten erreichbaren Wasserfadens über der Sohle begrenzt durch den — im Mittel etwa 10 cm betragenden — Halbmesser des von den Flügeln beschriebenen Kreises. Wie die Curve von hier bis zur Sohle sich gestaltet, läßt sich mit Präcision nicht angeben, denn, daß die Vertikalcurve vom Wasserspiegel an bis hart an die Sohle eine einzige, vollkommene Parabel sei, ist — wie später gezeigt werden wird — nicht richtig. Wenn man beispielsweise die ziemlich normale Vertikalcurve Fig. 86 betrachtet, so ersieht man, daß in der Höhe von nur 2 cm über der Sohle bereits eine Geschwindigkeit von 15,7 cm pro Secunde vorhanden ist. Wäre diese Curve mit einem Flügelinstrumente und mithin die unterstmeßbare Geschwindigkeit in 10 cm Höhe über der Sohle bestimmt worden, so hätte man bereits eine Geschwindigkeit von 36 cm erhalten, also eine um 130 Procent größere. Bei Verwendung der Darcy'schen Doppelröhre ließe sich der Begriff „Sohlgeschwindigkeit" allenfalls durch den tiefsten Punkt, in welchem noch gemessen werden kann, normiren; jedoch hat dieses Instrument eine bis auf 1,25 m Tiefe beschränkte Anwendbarkeit. Auch die Einsetzung der Entfernung des Fußpunktes der Vertikalen bis zur normalen Parabellinie (in Fig. 86 mit ON bez.) wird kaum von Nutzen sein; zum Mindesten dürfte diese Entfernung nicht den Namen „Geschwindigkeit" führen.

Handelt es sich aber nur um Beschaffung von Coefficienten für praktische Bestimmungen, so ist das Verhältniß $V_m : V_o$ eher brauchbar, sofern es gilt, aus V_o angenäherte Werthe von V_m und hieraus das Wasserquantum zu ermitteln. Zu

*) S. die „Messungen in der Elbe und Donau ꝛc." von Harlacher. Leipzig 1881.

diesem Zwecke stellt Verfasser folgende, aus 100 zuverlässig gemessnen Vertikal-Curven bestimmten Werthe von $\frac{V_m}{V_o}$ zusammen:

a) Aus 36 Rhein-Curven (Grebenau): 0,882. 890. 875. 868. 895. 879. 868. 905. 910. 867. 862. 867. 867. 858. 838. 838. 859. 873. 876. 902. 855. 909. 874. 780. 869. 942. 915. 863. 920. 896. 886. 843. 865. 837. 887. 907. [anno 1866 bis 1870.]

b) Aus 15 Donau-Curven (Harlacher): 0,890. 930. 925. 910. 885. 967. 920. 878. 908. 890. 835. 870. 956. 830. 830. [anno 1877 ꝛc.]

c) Aus 28 Elbe-Curven (ders.): 0,670. 660. 800. 880. 900. 830. 840. 820. 840—670. 640. 750. 820. 870. 870. 810. 860. 780. 840—750. 780. 840. 840. 750. 730. 710. 730. 790. [anno 1871 f. 3 Wasserstände.]

d) Aus 21 Curven der Weser, Rhein, Elbe, Oker (Verfasser): 0,727. 814. 787. 800. 845. 823—880. 890. 870. 860. 840—890. 870. 870. 900. 860. 860. 850—980. 970. 980. [in ders. Reihenfolge: anno 1879. 1871 (auch 1868). 1871. 1878.]

Die geringsten Werthe betragen: 0,640 und 0,670; jedoch in 98 Fällen mehr als 0,700. Der größte Werth ist: 0,97, aber auch nur vereinzelt vorkommend. Nimmt man von sämmtlichen 100 Zahlen das arithmetische Mittel, so ergiebt sich $\frac{V_m}{V_o} = 0{,}838$. Dies stimmt überein mit dem aus 200 von Schweizer Ingenieuren gemessenen Vertikalcurven sich ergebenden Mittelwerthe von 0,835, so daß man — ohne Berücksichtigung des später zu erwähnenden Einflusses des V_o — als allgemeinen Mittelwerth

$$\frac{V_m}{V_o} = 0{,}836$$

setzen kann. Die älteren Angaben von Brüning, Funk ꝛc., wornach das Verhältniß 0,915 betragen soll, liefern somit einen zu großen Mittelwerth.

Versuche, eine Abhängigkeit zur Tiefe zu ermitteln, führen zu keinem irgend wie brauchbaren Resultat. Dagegen scheint doch die vorerwähnte Schwankung zwischen 0,64 und 0,97 in Beziehung zu V_o zu stehen. In Fig. 84 sind letztere aus den Curven unter b) c) d) als Abscissen und die V_m als Ordinaten aufgetragen. Die vielen Unregelmäßigkeiten, welche eine die Ordinaten-Endpunkte verbindende Linie aufweist, bieten für die schärfere Darstellung einer Beziehungsgleichung zu großen Spielraum. Für Approximativ-Bestimmungen aber läßt sich eine größere Genauigkeit, als vorgenannter allgemeiner Mittelwerth besitzt, erzielen, sobald man in Fig. 84 (an Stelle einer ausgleichenden (flachen) Curve) 3 Gerade einträgt, welche je nach dem Wachsen der V_o mit der Ordinatenachse verschiedene Winkel bilden. Hiernach ergiebt sich:

bei $V_o =$ . . . . . bis zu 0,7 m ist $\frac{V_m}{V_o} = 0{,}80$
bei $V_o =$ mehr als 0,7 m bis zu 1,2 m ist „ $= 0{,}85$
bei $V_o =$ „ „ 1,2 m „ „ 3 m ist „ $= 0{,}90$

Im Allgemeinen läßt sich daher wohl die Regel aufstellen, daß dieses Verhältniß mit der Zunahme von V_o und — wie aus den Curven unter c) hervorzugehen scheint — mit der Zunahme des Wasserstandes allmälig wächst. Als praktisches Beispiel hierzu können die Messungen dienen, welche Verfasser im Juni des Jahres 1878 an der Weser bei Holzminden (zur Uebung der Studirenden der herzogl. techn. Hochschule zu Braunschweig) leitete. Die Messungsstelle befand sich circa 500m oberhalb der im Jahre 1879 gewählten (zweiter Abschnitt, A). Das mehrmals gepeilte Querprofil enthielt 137,39 □m Flächeninhalt bei dem Pegelstand von 0,9 m über Null. Nach Aufnahme der Stromstrecke mit dem Meßtisch und Nivellement des gleichmäßigen Wasserspiegelgefälles wurden an 5 Punkten des Querprofiles in Summa 28 Oberflächenschwimmer beobachtet, deren normale Weglänge 100 m betrug. Die Weglängen der einzelnen Schwimmer wurden durch Meßtischaufnahme bestimmt. Unter der damaligen Annahme, daß $V_m = 0{,}835 \cdot V_o$ sei, wurden die so berechneten V_m an den 5 Punkten als Ordinaten auf dem Wasserspiegel aufgetragen und die Endpunkte derselben durch eine Curve, die V_m-Curve, entsprechend verbunden. Die Querprofilfläche wurde sodann in 16 Theile zerlegt und die, jedem dieser Flächentheile zukommende V_m in Richtung der Schwerlinie der Flächen aus den bezüglichen Curvenordinaten entnommen. Durch Multiplikation jedes V_m mit dem betreffenden Flächentheile ergaben sich die Einzelwassermengen, deren Summe 82,38 Kbm pro Secunde betrug.

Die genaueren Untersuchungen des darauf folgenden Jahres ergaben aber für die Weser: $V_m = 0{,}80 \cdot V_o$. In Wirklichkeit waren sonach nicht 82,38 sondern nur 79,0 Kbm durchgeflossen, so daß der Fehler 3,38 Kbm oder 4,3 Procent betrug, ein Resultat, mit dem man (als Näherungswerth) zufrieden sein kann.

Der Wasserstand während der 1879er Messungen war übrigens um 0,11 m höher als während der 1878er Untersuchungen. Rechnet man zu dem 1878er Querprofil den Wasserstreifen von $84{,}7 \cdot 0{,}11 = 9{,}24$ □m hinzu, so ergiebt sich angenähert die mittlere Geschwindigkeit v dieses Streifens zu 0,7 m und das Quantum = 6,5 Kbm. Die Summe von 79 + 6,5 = 85,5 Kbm stimmt somit gut überein mit der im zweiten Abschnitt unter A) angegebenen Wassermenge.

3. Ort der mittleren Geschwindigkeit V_m in einer Vertikalen.

In den mit der Bewegung des Wassers in Verbindung stehenden Factoren ist selten eine so scharfe Ausprägung vorhanden, als in dem Verhältniß der Tiefe t, in welcher V_m liegt, zur Gesammttiefe T oder: bezüglich des Ortes der V_m. Aus den (im Ganzen 64) Vertikalcurven der folgenden Flüsse ergiebt sich jenes Verhältniß $\frac{t}{T}$ zu:

Weser. (Verf.): 0,58. 59. 60. 59. 58. 58. Mittel = 0,587
Elbe. (Verf.): 0,59. 59. 60. 59. 61. 59. 59. „ = 0,594
Rhein. (Verf.): 0,59. 592. 612. 562. „ = 0,589
Desgl. (Curve Fig. 86): 0,60. „ = 0,600
Oker. (Verf.): 0,60. 60. 60. „ = 0,600
Elbe (Harlacher): a) bei — 2,05 m Pegelstand:
0,58. 65. 64. 65. 58. 60. 59. 61. 67. „ = 0,620
b) bei — 2,49 m Pegelstand:
0,51. 57. 50. 66. 62. 60. 58. 63. 64. 67. „ = 0,598
c) bei — 3,06 m Pegelstand:
0,54. 57. 57. 60. 62. 55. 61. 58. 57. „ = 0,580
Donau (Harlacher):
0,55. 60. 49. 58. 61. 69.(?) 60. 63. 62.
68.(?) 58. 57. 60. 59. 60. „ = 0,599

Aus den Mittelwerthen der einzelnen Flüsse ersehen wir eine ziemlich genaue Uebereinstimmung. Das arithmetische Mittel aus allen Curven beträgt:

$$\frac{t}{T} = \frac{38{,}186}{64} = 0{,}5966.$$

Obgleich vereinzelte Werthe in höheren Sätzen bis zu 0,69 reichen, so kann dies doch unschwer mit unvermeidlichen Darstellungsfehlern zusammenhängen. Nahezu $^4/_5$ sämmtlicher Fälle stehen dem Werthe 0,59 außerordentlich nahe. Bekanntlich betrug dieses Verhältniß am Rhein bei Basel, ebenso am Mississippi: 0,58; es ist also in einem kleinen (fast noch Bach zu nennenden) Flüßchen, wie die Oker, fast ebenso groß wie im gewaltigen Mississippi.

Handelt es sich daher um die Ermittlung einer Wassermenge für praktische Zwecke, so kann dies mit ausreichender Genauigkeit auch durch Verwendung jenes Maaßes geschehen, indem in einer entsprechenden Anzahl Vertikalen die Geschwindigkeit in jeder einzelnen nur an einem Punkte und zwar in 0,596 der Gesammttiefe gemessen, hiernach die V_m-Curve aufgetragen und daraus die Wassermenge bestimmt wird.

4. Das Verhältniß der Geschwindigkeit V_s im Schwerpunkte des Querprofiles zu dessen mittler Geschwindigkeit v.

Nach dem Begriffe der (ideellen) mittleren Geschwindigkeit v lag die Vermuthung nicht allzufern, daß dieselbe im Schwerpunkte des Wasserquerschnittes zu finden sei. Die vom Verfasser an mehreren Querprofilen angestellten Untersuchungen ergaben jedoch, daß die Geschwindigkeit V_s im Schwerpunkte größer als v ist. Bei folgenden Flüssen fallen die Schwerlinien der Querprofile theils mit gemessenen Vertikalcurven zusammen, theils liegen sie solchen so nahe, daß es nicht schwer hielt, den Werth für V_s zu interpoliren. Trägt man — um die Beziehungen beider Geschwindigkeiten schneller übersehen zu können — auch hier dieselben als Coordinaten auf und zwar die V_s auf die Abscissen-(x)Achse, die v als Ordinaten (y), so ergiebt sich an 7 Wasserläufen der verschiedentlichsten Größe ein überraschend genau ausgeprägtes Verhältniß. In Fig. 85 ist dasselbe in einer Verjüngung von 1 : 20 (im Originale 1 : 10) dargestellt und documentirt sich ebenfalls, ähnlich wie das Verhältniß $\frac{v}{C}$, als eine parabolische Curve mit der Gleichung:

$$y = a' \cdot x + b' \cdot x^2.$$

Wählt man zur Bestimmung der Coefficienten a′ und b′ die Coordinaten für die Oker und für den Donau-Kanal (Nr. 1 und 7 der folgenden Zusammenstellung), so erhält man aus:

$$0{,}178 = a' \cdot 0{,}240 + b' \cdot 0{,}0576$$

$$1{,}520 = a' \cdot 1{,}820 + b' \cdot 3{,}312$$

die Coefficienten:

$$\begin{cases} a' = 0{,}727 \\ b' = 0{,}059. \end{cases}$$

Bei Einsetzung dieser Werthe in die Gleichungen aller übrigen Zwischenpunkte ergeben sich die Resultate der Tab. ⊙

Im Ganzen genommen schließen sich die aus der Gleichung

$$v = 0{,}727 \cdot V_s + 0{,}059 \cdot V_s^2$$

berechneten Werthe denen der Messung gut an. Eine sehr bedeutende Abweichung von dieser Regel bietet die Donau (Harlacher) selbst, deren v um circa 27 Procent größer ist, als das berechnete v. Der Grund hierzu liegt nach Verfassers Ansicht lediglich in der Form des von Herrn Harlacher untersuchten Querprofiles. Bei näherer Betrachtung desselben*) ersieht man, daß es auf $^2/_3$ der Wasserspiegelbreite

⊙

Nr.	Wasserlauf.	Aus den Messungen entnommene		Berechnete	Bemerkungen.
		$V_s = x$	$v = y$	$v = y$	
1	Oker. (Verf.)	0,240	0,178	0,178	
2	Weser. (Verf.)	0,543	0,425	0,412	3 % zu klein.
3	Hockebach (Grebenau.)	0,600	0,460	0,458	0,4 % zu klein
4	Elbe. (Verf.)	0,735	0,576	0,567	1,5 % zu klein.
5	Elbe. (Harlacher.)	1,880	1,100	1,117	1,5 % zu groß.
6	Rhein. (Verf.)	1,660	1,360	1,370	0,7 % zu groß.
7	Donau-Kanal (Harlacher).	1,820	1,520	1,520	

durchschnittlich circa 3 m Tiefe besitzt, in dem anderen Drittheil aber ziemlich plötzlich die Tiefe von 7 m annimmt. Die Schwerlinie fällt hiernach in die weit seichteren ersten $^2/_3$, woselbst die Vertikalcurve (Nr. X), in deren Nähe der Schwerpunkt liegt, beträchtlich geringere Geschwindigkeiten hat, als diejenigen mit großen Tiefen. Es dürfte hieraus hervorgehen, daß die gefundene Beziehung zwischen V_s und v nur bei solchen Querprofilen anwendbar sein wird, bei denen die größeren Tiefen angenähert in der Mitte des Querprofiles liegen; je regelmäßiger das letztere ist (Rechteck, angenäherte Parabel oder dergl. ꝛc.), um so genauer wird sich jene Beziehung verwirklichen. Uebrigens betont Verfasser, daß jene, auf nur 7 Beobachtungen ruhende Gleichung für v zur Zeit durchaus noch nicht maaßgebend sein kann. Selbst wenn sich fortgesetzt bestätigen sollte, daß eine regelmäßige Beziehung zwischen V_s und v vorhanden ist, so können sich doch leicht die Coefficienten als correctionsbedürftig erweisen und mithin ändern.

Dafern es aber gelingen sollte, ein gut fundirtes Gesetz hierauf bezüglich festzustellen, so würde auch hiermit der Praxis ein großer Dienst erwiesen, denn man braucht eben nur an einem einzigen Punkte (dem leicht zu bestimmenden Schwerpunkte) des Querprofiles die Geschwindigkeit zu messen, um v und mit diesem auch die Wassermenge zu erhalten. Aus diesem Grunde hat Verfasser jener Beziehung erwähnt, deren weitere Untersuchung wohl Beachtung verdienen dürfte.

5. Form der Vertikalcurven.

Seit Veröffentlichung der Untersuchungen von Humphreys und Abbot am Mississippi ist seitens der Hydrotekten die Frage lebhafter erörtert, resp. wieder aufgenommen worden, nach welchem Gesetze die Abnahme der Geschwindigkeit in einer Vertikalen stattfindet. Wohl allseitig hat man den Beweis anerkannt, daß dies nach der Form einer Parabel geschieht, nur gehen die Ansichten hinsichtlich der Lage der Parabelachse weit auseinander. Einige stellen dieselbe vertikal und verlegen den Scheitel der Parabel an den Sohlpunkt der Vertikalen. Andere — und wie es scheint die Mehrzahl — nehmen an, daß die Achse horizontal und der Scheitel in der Maximalgeschwindig-

*) S. „Die Messungen in der Elbe und Donau" ꝛc. (Tafel IV) von A. R. Harlacher. Leipzig, Verlag von Arthur Felix. 1881.

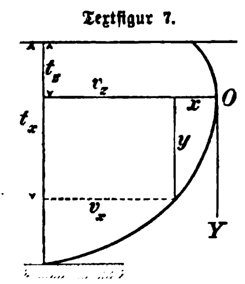
keit liege; bei steilen Curven sehr nahe am Wasserspiegel, bei stärker gekrümmten dagegen ein variables Maaß unter demselben. Einzelne Hydrotekten gehen sogar so weit, daß sie behaupten, die Maximalgeschwindigkeit liege **stets** im Wasserspiegel.

Eine endgiltige Rationaltheorie über die Bewegung des Wassers in Flüssen existirt zur Zeit noch nicht; ihre Aufstellung wird auch auf nicht wenige Schwierigkeiten stoßen. Aus diesem Grunde kann zunächst nur auf dem, die Resultate der Beobachtungen benutzenden Wege der Experimentaltheorie vorgegangen werden. Wenn man die unter 2) erwähnten 21 Vertikalcurven aus Verfassers Messungen näher ins Auge faßt, so erhalten wir bezüglich der Gestalt folgende Resultate.

Vor allen maaßgebend wird hierzu die Betrachtung der einzelnen Rheincurve Fig. 86 sein, weil diese — mit der Darcy'schen Doppelröhre vorwiegend zum Zwecke der Formuntersuchung gemessen — noch Geschwindigkeiten hart an der Sohle, sowie solche hart unter dem Wasserspiegel angiebt. Die vorerst angestellten Erörterungen über die etwaige Lage des Parabelscheitels an der Sohle, wornach also die Parabelachse vertikal stehen müßte, ergaben an dieser, sowie an allen übrigen 20 Curven des Verfassers völlig unbrauchbare Resultate, d. h. die Parabelcurve wendet sich von dem Sohl-Scheitelpunkte so schnell von der gemessenen Curve ab, daß von einer Scheitellage an der Sohle nicht die Rede sein kann. Dagegen erhält man befriedigende Ergebnisse, sobald man die Parabelachse **horizontal** und zwar an den Ort der Maximalgeschwindigkeit legt. Wählt man zum Anfangspunkt der Coordinaten den Scheitel der Parabel, so daß die Ordinatenachse parallel der zur Sohle Vertikalen ist, so hat die Gleichung einer solchen Parabel die Form

$$y^2 = p \cdot x.$$

Textfigur 7.



Ist nach Textfigur 7 in der Tiefe t_x die Geschwindigkeit v_x irgend eines Punktes xy vorhanden und liegt die Maximalgeschwindigkeit v_z um t_z unter dem Wasserspiegel, so ergiebt sich der Parameter p zu:

$$p = \frac{(t_x - t_z)^2}{v_z - v_x}$$

In der Curve Fig. 86 sind die für die Coordinaten (in Centimetern) maaßgebenden Geschwindigkeiten, von denen die Maximalgeschwindigkeit 15 cm **unter dem Wasserspiegel** oder in circa $^1/_5$ der Tiefe liegt, eingetragen und erhält man p = 70,9 cm. Die **normale** Parabel ist hierin durch eine gestrichelte Linie angegeben und wir ersehen daraus, daß die **gemessenen** Parabelpunkte bis zum **Punkte** M, **welcher in** 0,85 **der** Gesammttiefe T liegt, **mit den normalen gut übereinstimmen. Von diesem Punkte** M **an aber wendet sich die Curve wesentlich von der Parabelform ab.** Aehnlich verhält es sich mit den übrigen Rheincurven, von denen die eine (Nr. II) in Fig. 86a besonders ausgetragen ist (p = 1730). Bei allen liegen die **Parabelachsen unter** dem Wasserspiegel; bei den Elb- und Weser-Curven dagegen angenähert im Wasserspiegel, so daß hierfür die Gleichung des Parameters lautet:

$$p_1 = \frac{t^2_x}{v_z - v_x}$$

In der Weser-Curve Fig. 86c beträgt (die Coordinaten in Centimetern ausgedrückt): $p_1 = 3584$; in der Elb-Curve Fig. 86b: $p_1 = 1285$. Die folgende Tabelle giebt die Einzelverhältnisse übersichtlicher an.

Curve des Stromes:	Gesammt-Tiefe T. m	Theil von T, bis zu welchem die Curve mit der Parabel zusammenfällt.	Tiefe der Parabelachse unter dem Wasserspiegel. m
Rhein. (Fig. 86)	0,78	0,85	0,15 (= 0,192 T)
Rhein. (Fig. 62)	3,70	0,90	0,50 (= 0,135 T)
Weser. (Fig. 86 c)	3,02	0,75	0,00
Elbe. (Fig. 86 b)	1,80	0,72	0,00

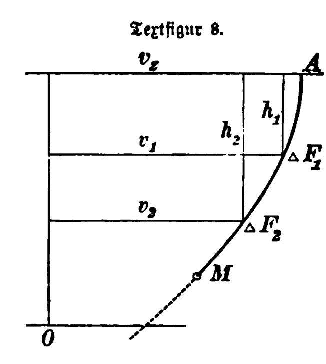
Auch aus den übrigen Curven des Verfassers (s. auch die Rheincurven Fig. 61—64), sowie überhaupt aus allen vorerwähnten Vertikalcurven geht hervor:

a) **Bis zu einer gewissen, meist beträchtlichen Tiefe besteht die Geschwindigkeitscurve aus einer Parabel; von da bis zur Sohle aus einer hiervon abweichenden (unbestimmten) Curve.**
b) **Die Achsen dieser Parabeln liegen horizontal** (oder richtiger: parallel zum Wasserspiegel).
c) **Die Maximalgeschwindigkeit** (oder Parabelachse) **liegt in fast** 0,00 **bis zu** 0,28 **der Gesammttiefe***).

Soweit die Erörterungen an 100, den verschiedentlichsten Flüssen angehörenden Vertikalcurven im Stande sind, eine Aufstellung einiger allgemeinerer Gesichtspunkte für die Gesetze der Wasserbewegung zu ermöglichen, wird man betreffs der letzteren zu anderen Anschauungen hingeführt. Zunächst kann die Ansicht von Humphreys und Abbot, die Vertikalcurve entspräche einer vollkommenen Parabel, nicht als allgemein giltig angesehen werden, denn die unter a) erwähnten Resultate sprechen dagegen.

Wenn wir vorläufig die Maximalgeschwindigkeit v_z als im Wasserspiegel liegend annehmen, mithin auch den Scheitel A der Curve, so wird (Textfig. 8) die von hier aus nach der Sohle zu stattfindende Abnahme der Geschwindigkeiten (v_1, v_2 . . .) im Wesentlichen hervorgebracht durch den Druck der Wassersäulen h_1, h_2 . . . auf die Flächenelemente $\triangle F_1$, $\triangle F_2$ . . . Bis zu einem bestimmten, über der Sohle liegenden Punkte **M** vollzieht sich diese Wirkung unter Bildung einer Parabel AM.

Textfigur 8.



Trägt man nun auf die Abscissenachse X der Textfigur 9 eines rechtwinkligen Coordinatensystemes die Abnahme der Geschwindigkeiten auf, oder die Differenzen

Textfigur 9.

$$v_z - v_1 = \zeta_1$$
$$v_z - v_2 = \zeta_2 \text{ u. s. f.}$$

sowie als Ordinaten den, jedem der Flächenelemente zukommenden Wassersäulendruck P_1, P_2 . . . , so ergiebt sich durch Zusammenziehung der Punkte O, K, L, ꝛc. eine

*) Am Mississippi bis zu 0,3. T.

Parabel, deren Parameter = p sei, mit der allgemeinen Gleichung:

$$P^2 = p \cdot \xi$$

Es gilt somit für die Punkte K und L

$$P_1^2 = p \cdot \xi_1$$
$$P_2^2 = p \cdot \xi_2$$

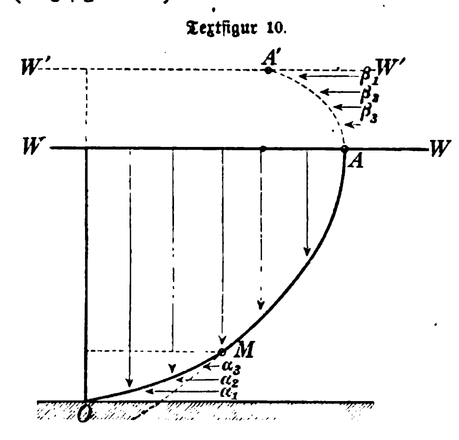
woraus sich weiter ergiebt:

$$\frac{\xi_1}{\xi_2} = \frac{P_1^2}{P_2^2}$$

oder: die Abnahmen der Geschwindigkeiten verhalten sich wie die Quadrate der Wassersäulendrücke.

Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse ließe sich die Entstehung der Geschwindigkeits-Curve etwa in folgender Weise erklären. (Textfigur 10.)

Textfigur 10.

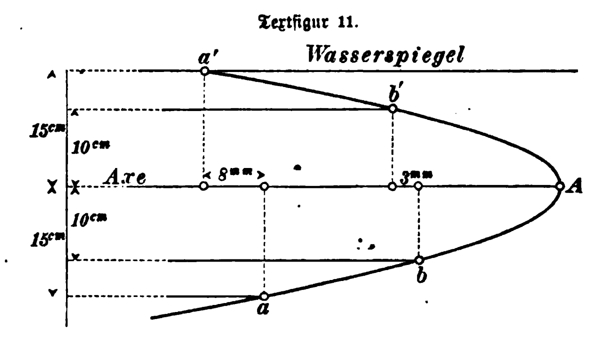


I. Fällt die Parabelachse mit dem Wasserspiegel WW zusammen, so wirken auf Verringerung der Geschwindigkeit vorwiegend:
   1) In dem Theile AM: die Drücke $P_1 P_2 \ldots$
   2) In dem übrigen Theile MO: theils die Drücke $P_1 P_2$ rc., theils die hier zur Geltung kommenden Widerstände ($\alpha_1 \alpha_2 \ldots$) des Sohlmateriales (Rauheit rc.). Die Curve MO ist also eine andere, als AM.

II. Liegt die Parabelachse ein Stück unter dem Wasserspiegel (W'W') und kann man dieses Herabdrücken der Achse den Widerständen der atmosphärischen Luft zuschreiben, so wirken in Folge dessen
   3) Auf den Theil AA' der Curve theils Drücke $P_1 P_2 \ldots$, theils und vorwiegend die Widerstände $\beta_1 \beta_2 \ldots$ der atmosphärischen Luft.

Es geht hieraus hervor, daß auch das Curvenstück AA' nicht als Theil der Parabel AM anzusehen sein wird, so daß demnach je nach dem Fall I oder II eine Vertikalcurve thatsächlich aus 2 oder 3 verschieden gestalteten Curven besteht, von denen (bei Fall II) das mittelste Stück denjenigen Theil repräsentirt, welcher weder von dem Sohl- noch vom Luft-Widerstand beeinflußt wird. In der Rhein-Curve Fig. 86 ist die Verdrückung der normalen Parabel über der Sohle sehr deutlich ausgeprägt; diejenige am Wasserspiegel ist, weil die Luft nicht in dem Maaße widersteht, wie das Flußbett, beträchtlich geringer, obgleich die Entfernung der Bruchpunkte sowohl bis zur Sohle, als auch bis zum Wasserspiegel fast gleich ist. An jedem der hierin angegebenen Tiefpunkte ist die Geschwindigkeit, resp. die Wassersäulendifferenz der Darcy'schen Doppelröhre 30 Mal beobachtet worden, so daß man selbst die Ergänzung von 5 Centimeter unter Wasser bis zum Spiegel als richtig annehmen kann. Wäre das obere Curvenstück (über der Achse) eine symmetrische Fortsetzung der unter der Achse befindlichen Parabel, so müßten gleichgroße Ordinaten auch einen und denselben Fußpunkt haben. In Textfigur 11, in welcher die Geschwindigkeitsdifferenzen

Textfigur 11.



der mehrerwähnten Curve in natürlicher Größe, die Tiefen mit $^1/_{10}$ Verjüngung aufgetragen sind, steht Punkt b' um 3 mm von b und Punkt a' um 8 mm von a ab, in welchen Maaßen sich der Luftwiderstand kund giebt.

Vertikalcurven, welche für Wassermengenbestimmungen gemessen worden sind, pflegt man zumeist in der Weise zu zeichnen, daß wie in Fig. 86 die Curvenlinie normal bis zum Sohlpunkte N fortgeführt und die Fläche MON mit in die ganze Curvenfläche eingerechnet wird. Es führt dies aber zu Fehlern, da die mittlere Geschwindigkeit V_m der Vertikalebene hierdurch zu groß wird; in erwähnter Curve würde der Fehler + 2 Procent betragen. Es ist daher zu empfehlen, die Curve von dem untersten noch meßbaren Punkte an bis zum Fußpunkt der Vertikalen entsprechend zu verziehen; der Fehler wird dadurch weit geringer. Wie schon früher angedeutet, pflegt man ferner die Größe ON als „Geschwindigkeit an der Sohle" anzugeben. Es bedarf keines besonderen Commentares, daß dies falsch ist. Aber selbst, wenn man etwa festsetzen wollte, daß hierunter die Geschwindigkeit verstanden sein soll, wie sie sich 1 oder 2 cm über der Sohle ergiebt, so kommen doch noch zu große Differenzen vor, wenn die Richtung MN beibehalten wird. In 2 cm Höhe über der Sohle ist die Geschwindigkeit thatsächlich nur 157 mm; die bis MN reichende dagegen: 265 mm. Bei 1 cm Höhe die erstere: 6 mm, die letztere 25 mm; mithin um 71, resp. 400 Procent zu groß.

6. Die Horizontal-Curve der Oberflächengeschwindigkeiten V_o.

Wenn auf die Breite des Wasserspiegels eines Flußquerprofiles an mehreren Punkten die ermittelten V_o als Ordinaten aufgetragen werden, so bilden deren untereinander verbundene Endpunkte eine mehr oder weniger wellige Curve, die sogenannte Horizontalcurve der V_o. Man hat auch hier versucht, ein Gesetz ausfindig zu machen, durch welches die V_o in reguläre Beziehung zu den zugehörenden Flußtiefen des Querprofiles gebracht werden sollen. Humphreys und Abbot fanden am Mississippi, daß diese Curve eine Parabel sei und diese Ansicht ist auch in neuen Werken über Wasserbau mit aufgenommen worden. Dagegen hat Grebenau in seiner commentirenden Uebersetzung des bekannten Werkes über den Mississippi, sowie Verfasser in den Protokollen (14. Nov. 1869) des sächsischen Ingenieur-Vereins nachgewiesen, daß es nicht richtig ist, auch hier ein Parabelgesetz als allgemeine Regel aufzustellen. Vergleichen wir die Gestalt der Horizontalcurven mit der Form des benetzten Umfanges, wie beide betreffs der Donau, des Donau-Kanales, der Elbe (Harlacher), des Rheins (Grebenau), der Weser, Elbe und des Rheins (Verfasser) aus den Figuren 87 bis 93 (der Deutlichkeit wegen in verschie-

denen Verjüngungen) zu ersehen sind, so tritt uns eine ganz unverkennbare Conformität entgegen, wornach in der Regel allgemein einer größeren Tiefe auch ein größeres V_o entspricht und die ganze Curve von Ufer zu Ufer aus ebensovielen verschiedenen Einzelcurven zusammengesetzt ist, als sich wesentliche Tiefenveränderungen zeigen. Daß Humphreys und Abbot eine Parabel fanden, beruht lediglich darauf, daß die Querprofile, deren V_o sie untersuchten, selbst symmetrisch liegende Parabeln zur Form hatten. Dies ist aber ein Zufall oder eine Specialität, aus welcher nicht ein allgemein gelten sollendes Gesetz geschöpft werden kann. Richtiger ist es daher, eine für alle Fälle geltende Regel aufzustellen etwa in der Weise, wie sie Grebenau formulirt hat: „die örtliche Wassertiefe bedingt die Größe der Oberflächengeschwindigkeit"; oder: „die Wasserspiegelgeschwindigkeit ist eine Function der zugehörenden Wassertiefe."

Zur Zeit ist allerdings noch kein bestimmter Ausdruck für diese Function bekannt; daß eine solche besteht, ergeben die Beobachtungsresultate nur im Allgemeinen. Ist die Form der Sohle ein Dreieck, so ist dies auch die Gestalt (nur in umgekehrter Lage) der V_o-Curve. Ist sie ein Kreisbogen, eine Parabel ꝛc., so ergiebt sich auch stets eine diesen wenigstens ähnliche Curve, oder eine solche, welche zum Theil den ersteren entspricht. Dieser Zusatz ist nothwendig, denn es zeigt sich auch hier — ganz ähnlich wie an den unteren Enden der Vertikalcurven — der störende unmittelbare Einfluß der Wandungen, resp. Ufer. In der Nähe der letzteren äußert sich dies dadurch, daß, sobald die größte Tiefe sich hier befindet, die größte Oberflächengeschwindigkeit nicht über dieser Tiefe liegt, sondern mehr nach der Strommitte zu gedrängt wird. Man ersieht dies aus den Figuren 87, 89 und 93. Bei letzterer ist in 12m Entfernung vom Ufer die Tiefe 7,25m und $V_o = 2{,}45$m; in 24m Entfernung dagegen die Tiefe nur 6,65m und dennoch $V_o = 2{,}7$m. Wie weit dieser Einfluß der Wandungen nach der Querrichtung sich erstreckt, ist noch unbekannt. Bei Untersuchung dieser Erscheinung wird an kleineren Flüssen die Darcy'sche Doppelröhre die besten Dienste leisten.

Etwas deutlicher als die Beziehungen der V_o zur Tiefe prägt sich das Verhältniß des wahren Mittels Z_m aller V_o eines Querprofiles zur mittleren Geschwindigkeit v aus. Man erhält dieses Z_m, indem man die von der V_o-Curve und dem Wasserspiegel eingeschlossene Fläche durch die Breite des letzteren dividirt. Verfasser giebt den Werth der Z_m für verschiedentliche Flüsse in Tabelle Nr. 12 an.

Die Z_m sind in Fig. 94 als Abscissen, die v als Ordinaten aufgetragen, deren verbundene Endpunkte die mit 0. 1. 2. 3. . . . . . 9 bezeichnete gebrochene Linie ergiebt. Es scheint, als ob diese Linie sich durch eine, von 0 ausgehende Gerade ersetzen ließe. Hält man den Punkt 0 fest, ebenso die Abscisse $0V = 2{,}306$m und berechnet die Fläche 0. 1. 2. 3. . . . . . . 9. V. 0, deren Größe $= 2{,}346\,\square$m beträgt, so entsteht ein gleichgroßes Dreieck

$$2{,}346 = 2{,}306 \cdot \frac{1}{2} \cdot h$$

mit der Höhe $h = 2{,}034$. Die Hypothenuse dieses Dreiecks ist zugleich die ausgleichende Gerade, so daß sich hiernach das Verhältniß ermittelt:

$$\frac{v}{Z_m} = \frac{2{,}034}{2{,}306} = 0{,}882.$$

Diesem Mittelwerthe gegenüber sind 4 der in der Tabelle angegebenen Werthe etwas zu groß.

Tabelle Nr. 12.

Nr.	Fluß.		Z_m m	v m	$\frac{v}{Z_m}$
I.	Oker.	Verfasser.	0,185	0,178	0,962
II.	Weser.	Verfasser.	0,491	0,425	0,865
III.	Elbe.	Verfasser.	0,633	0,609	0,962
IV.	Rhein.	Verfasser.	1,517	1,361	0,897
V.	Donau.	Harlacher.	2,306	2,016	0,874
VI.	Donau-Kanal.	Harlacher.	1,731	1,520	0,878
VII.	Elbe h. Wasserstand	Harlacher.	1,275	1,100	0,863
VIII.	„ m. „	Harlacher.	1,120	0,950	0,848
IX.	„ n. „	Harlacher.	0,850	0,760	0,891

7. Das Verhältniß $\frac{U_m}{v}$ des wahren Mittels der V_m zur mittleren Flußgeschwindigkeit v.

Sobald man die vom Wasserspiegel und der V_m-Curve eingeschlossene Fläche durch die Wasserspiegelbreite dividirt, so entspricht das Facit dem wahren Mittel aller V_m eines Querprofiles. Humphreys und Abbot fanden zunächst, daß dieses Mittel U_m nicht gleichwerthig sei mit der mittleren Flußgeschwindigkeit v, sondern allemal etwas kleiner als letzteres. Am Mississippi ergab sich: $U_m = 0{,}93 \cdot v$.

Bei den vom Verfasser untersuchten Flüssen, denen zu größerer Genauigkeit noch mehrere von Grebenau und Harlacher behandelte Ströme angefügt seien, ergeben sich für U_m und v die Werthe der Tabelle Nr. 13.

Tabelle Nr. 13.

Laufende Nr.	Wasserlauf.	U_m m	v m	$\frac{U_m}{v}$
1	Oker (Verf.).	0,165	0,178	0,928
2	Weser (Verf.).	0,393	0,425	0,925
3	Elbe (Verf.)	0,566	0,609	0,929
4	Rhein (Verf.).	1,273	1,361	0,935
5	Rhein (Grebenau) bei Germersheim.	1,395	1,540	0,906
6	Donau-Kanal (Harlacher).	1,440	1,520	0,947
7	Rhein (Grebenau ꝛc.) bei Basel.	1,805	1,945	0,928
8	Donau (Harlacher).	1,840	2,016	0,912

Das arithmetische Mittel aus den vorstehenden Werthen für $\frac{U_m}{v}$ in Verbindung mit dem am Mississippi gefundenen beträgt: 0,927, eine Zahl, mit welcher die Werthe unter Nr. 1. 2. 3. 7 übereinstimmen, ebenso der Mittelwerth aus Nr. 5. und 6: $\frac{0{,}906 + 0{,}947}{2} = 0{,}927$. Trägt man nach Fig. 95 die U_m als Abscissen auf und die v als Ordinaten,

so ist zu ersehen, daß die Verbindungslinie der Ordinatenendpunkte sich als eine, durch den Anfangspunkt der Coordinaten gehende Gerade betrachten läßt, welche mit der Abscissenachse den Winkel $\alpha = 47^0\ 10'\ 10''$ bildet, wobei $v = U_m \cdot \tan\alpha$ die Gleichung der Geraden ist. Hiernach würde sich somit ergeben:

$$U_m = 0{,}927 \cdot v$$
$$v = 1{,}0787 \cdot U_m$$

Auch die übrigen Werthe unter Nr. 4 und 8 weichen so wesentlich nicht ab, daß man von dem Gesetze einer Geraden abgehen sollte. Wohl aber differiren die Coefficienten-Werthe, wie sie sich aus den Harlacher'schen Messungen an der Elbe für 3 verschiedene Wasserstände ergeben (1,145 — 1,021 — 0,900 niedrigster W.), so beträchtlich, daß es rathsam erscheint, die vorher entwickelten Werthe zur Zeit noch nicht als endgiltig zu betrachten, sondern zunächst noch mehr Beobachtungsresultate heranzuziehen. Sollte es gelingen, jenes Verhältniß genau festzustellen, so würde die Ermittlung der Wassermenge vereinfacht werden können, indem man die zu Anfang erwähnte Fläche mittelst eines Polarplanimeters und hieraus auf die angegebene Art U_m bestimmt, aus welchen sich sodann v ergiebt.

8. Die Querneigung des Wasserspiegels eines Querprofiles und die Verschiedenheit der Längsgefälle an beiden Ufern.

Bei Besprechung der hydrometrischen Untersuchungen an der Weser und Elbe wurde des Umstandes gedacht, daß bei einem und demselben Wasserstande der Wasserspiegel in einem Querprofil nicht horizontal, sondern an dem einen Ufer höher liegt, als an dem anderen. Dasselbe ergiebt sich auch aus den Harlacher'schen Messungen an der Elbe, sowie aus Messungen Grebenau's am Rhein, woselbst in einer, circa 1,5 Kilometer langen, geradlinigen Stromstrecke (circa 1000 m oberhalb der Maxauer Schiffbrücke) die Differenz 14 cm beträgt (Wasserspiegelbreite 240 m).

Die Ursachen dieser Erscheinung liegen vorwiegend in localen Verhältnissen; streng genommen auch in dem Einflusse der Erdumdrehung um ihre Achse. Eine ruhende Wassermasse (See, Teich) nimmt die Geschwindigkeit eines Punktes des ihr zugehörenden Parallelkreises, welche z. B. bei Maxau angenähert 302 m, bei Herrnskretschen (Elbe) circa 291 m pro Secunde beträgt, mit an und behält, weil diese Bewegung ohne Acceleration erfolgt, eine horizontale Oberfläche. Anders dagegen verhält es sich, wenn die ruhende Masse sich in ein Flußbett begiebt und hierin — angenommen in der angenäherten Richtung von Süd nach Nord unserer Halbkugel — sich fortbewegt. Die Geschwindigkeit des größeren Parallelkreises behält ein darin befindliches Wassermolekül zum Theil auch dann noch bei, wenn letzteres in die Region eines kleineren Parallelkreises mit dessen geringerer Geschwindigkeit gelangt. Die Existenz dieser, dem Molekül nach dem Gesetze der Trägheit innewohnenden Mehr-Geschwindigkeit muß sich dahin äußern, daß das Wasser dem östlichen Ufer zudrängt und sich hier höher einstellt, als am westlichen Ufer. Die Einflüsse rein lokaler Ursachen sind jedoch weit überwiegend, so daß sie auch bei den vorerwähnten Beispielen von Strömen lediglich jenen zuzuschreiben sind.

An der Weser bei Holzminden lag (bei nahezu Mittelwasserstand) der Wasserspiegel am rechten (östlichen) Ufer 1,3 cm höher, als am linken. Ursache: eine wenngleich nicht starke rechtsseitige Concave oberhalb der, (auf die Länge von circa 180 m geradlinigen) Untersuchungsstrecke (Fig. 31).

An der Elbe bei Herrnskretschen ist die Concav-Form des rechten (östlichen) Ufers der Grund zur Erhöhung von 1,4 cm (bei Niederwasser).

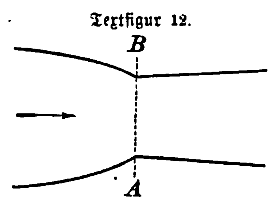
Am Rhein bei Maxau ist die betreffende Strecke allerdings auf größere Entfernung geradlinig, jedoch verursachte eine mächtige, nicht ganz in der Mitte (mehr nach rechts zu) gelegene Kiesbank, daß die Hauptwassermenge nach links (westliches Ufer) gedrängt und hier — bei der großen mittleren Geschwindigkeit von nahe 2 m — emporgetrieben wurde. Das Querprofil des 240 m breiten Wasserspiegels gestaltete sich in der Weise, daß die Erhöhung

am rechten (östlichen) Ufer				= Null
55 m vom	„	„	„	= 0,097 m
240 m „	„	„	„	= 0,141 m

betrug.

An der Donau war die Niveaudifferenz an und oberhalb der Messungsstelle unbedeutend; dagegen wesentlich größer unterhalb der letzteren, woselbst der Wasserspiegel des linken Ufers bis zu circa 8 cm höher liegt. Nach dem Grundplan auf Tafel III des unten*) bemerkten Werkes ist die Messungsstelle AB der Textfigur 12 die engste in der betreffenden Strecke; oberhalb erweitert sich das Donauprofil um circa 50 Procent; unterhalb wiederum und zwar um circa 15 Procent. Es tritt hierdurch in AB vermuthlich eine mit Stau verbundene Contraktion ein, welche die Niveaudifferenz nahezu ausgleicht, während sich unterhalb die hinter solchen Verengungen eintretenden Unregelmäßigkeiten zeigen. Da die Donau hier im Allgemeinen die Richtung von West nach Ost annimmt, so finden deren einseitige Erhebungen auch lediglich in diesen lokalen Zuständen ihren Grund.

Textfigur 12.



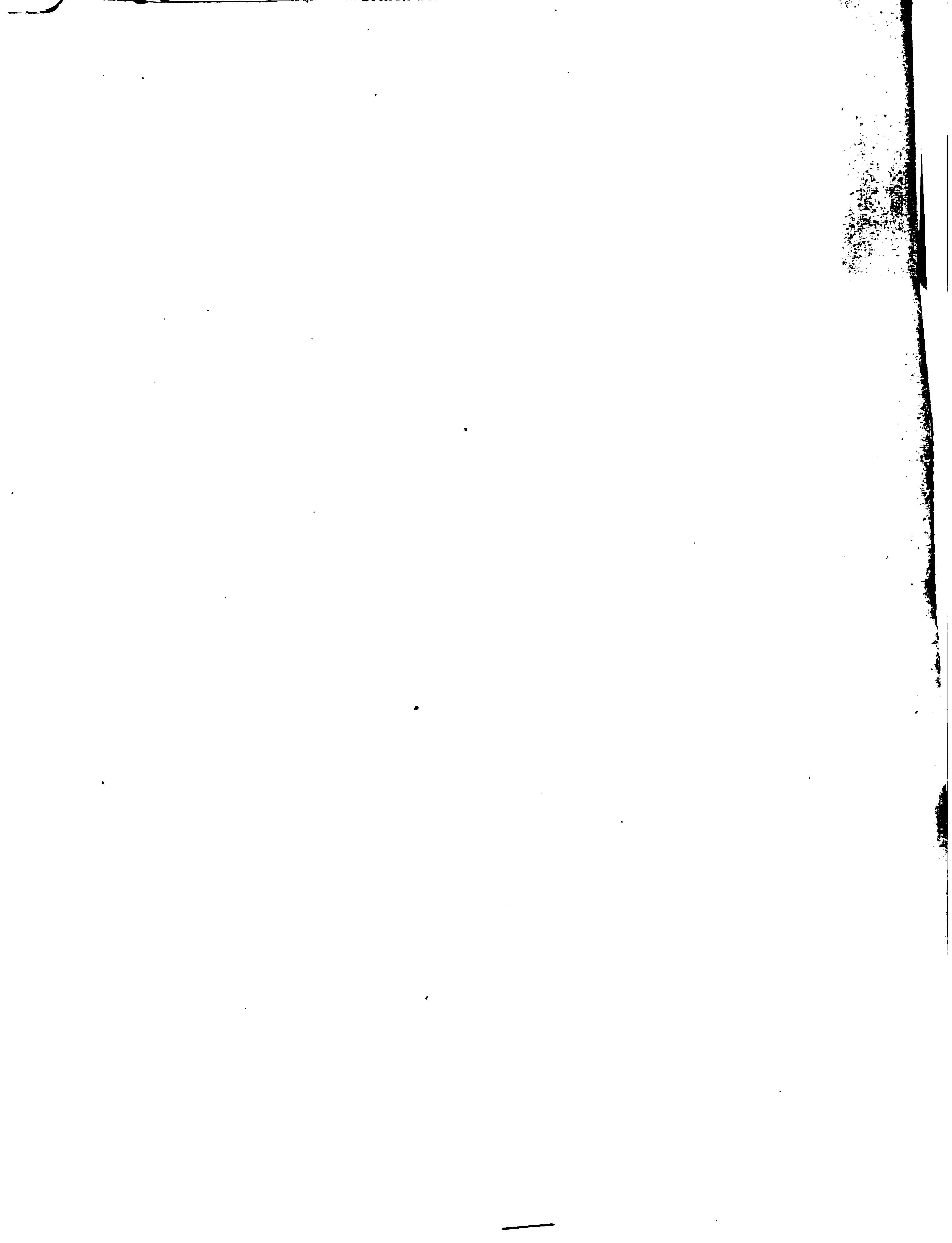
Mit diesen Niveaudifferenzen hängen denn auch die nicht selten vorkommenden Ungleichmäßigkeiten der Längsgefälle beider Ufer zusammen. Zumeist pflegt unter solchen Umständen das Gefälle im Stromstriche angenähert ein Mittelwerth der Gefälle an den Ufern zu sein. Wo daher die Messung des Stromstrichgefälles nicht oder nur ungenau zu ermöglichen sein sollte, verbleibt nur der Weg übrig, als allgemeines Gefälle das Mittel aus den seitlichen einzusetzen.

Man ersieht aus dem Allen, daß die Lage des leicht beweglichen Elementes schon durch verhältnißmäßig geringe Veränderungen der Ufer, der Bettausbildung, ebenso durch äußerlich nicht bemerkbare Zu- oder Abnahme der Abflußtendenz u. A. m. aus den normalen Verhältnissen verschoben werden kann und daß es somit gerathen ist, unbedingt an beiden Ufern größerer Flüsse, wenn möglich auch im Stromstriche die Gefälle zu untersuchen, selbst dann, wenn es sich um rein praktische Bau-Zwecke handelt.

*) „Die Messungen in der Elbe und Donau", von Harlacher.

RCY'S

Fi





Verlag von Goeritz & zu Putlitz in Braunschweig.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Braunschweig und Umgebung.

Historisch-topographisches Handbuch
und
Führer durch die Baudenkmäler und Kunstschätze der Stadt
von
Fr. Knoll.
Zweite durch einen Nachtrag vermehrte Ausgabe.
Preis ℳ 2.50.

Oeffentliche Anstalten
für
Naturgeschichte u. Alterthumskunde in Holland
und dem
nordwestlichen Theile von Deutschland.

Reiseskizze
vorgetragen im
Verein für Naturwissenschaft zu Braunschweig
im December 1879
von
Professor Dr. **Wilh. Blasius.**
Preis ℳ —.80.

Einst.

Populärer geologischer Vortrag
gehalten
im Cyklus öffentlicher Vorträge
des
Braunschweiger kaufmännischen Vereins „Union"
von
Dr. **Julius Ottmer,**
Professor.
Preis ℳ 1.—

101
ausgewählte Schachaufgaben
von
J. Kohtz und **C. Kockelkorn.**
Preis ℳ 3.50.

Bericht
über die in
Berlin, Amsterdam, Rochdale, Manchester, Croydon, Leamington und Abingdon
eingeführten
Systeme der Städtereinigung.
Unter Mitwirkung von
Dr. med. **R. Blasius**, Stabsarzt a. D.,
W. Claus, Oberingenieur, **H. Gebhard**, Stadtrath,
W. Götte, Stadtrath, **F. W. Schoettler**, Stadtrath
erstattet von
L. Mitgau,
Städtischer Oberingenieur.
Mit in den Text gedruckten Holzschn. u. einem Plane von Abingdon.
Preis ℳ 1.60.

Systematischer Gang
der
Qualitativen Analyse
zusammengestellt von
Dr. **F. Salomon,**
Privatdocent und Assistent an der Techn. Hochschule zu Braunschweig.
Cart. Preis ℳ —.80.

Portrait Sr. Hoheit des Herzogs Wilhelm von Braunschweig
in Lithographie von **Hugo Bruns.**
92 + 75 Cm. Preis ℳ 6.—
Photographie davon im Cabinet-Format ℳ 1.—

Portrait des Improvisator W. Herrmann
aus Braunschweig.
In Lithographie von Hugo Bruns.
65 + 45 Cm. Preis ℳ 4.—

Photographie von G. E. Lessings Grabe
im
Schmucke der zur Feier seines 100jähr. Todestages gewidmeten Kränze.
Folio-Format ℳ 2.50. Cabinet-Format ℳ 1.—

Sternkarte des nördlichen Himmels mit Horizont
entworfen von **W. Harmes.**
2 Blatt in plano ℳ 1.50. Aufgezogen auf Pappe ℳ 3.—

Druck von B. G. Teubner in Leipzig.